MÉMOIRE

Présenté par : ***Noémie SCHALLER***

Dominante d'approfondissement : **AGER (AGRONOMIE-ENVIRONNEMENT)**

Analyse et modélisation des relations agriculture – élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso

Pour l'obtention du :

DIPLÔME D'INGENIEUR AGRONOME d'AgroParisTech

et du DIPLÔME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

Stage effectué du 17/03/08 au 15/09/08
au CIRAD Montpellier / CIRDES Bobo-Dioulasso

Enseignant-responsable (SIAFEE) :
Stéphane de TOURDONNET

Maîtres de stage (UMR Innovation) :
Nadine ANDRIEU
Patrick DUGUE
Pierre-Yves LE GAL

Soutenu le 25 septembre 2008

Mémoire de stage de fin d'études

Noémie SCHALLER

Analyse et modélisation des relations agriculture élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso

Stage réalisé de mars à septembre 2008,
au CIRAD Montpellier (UMR Innovation) / CIRDES (URPAN) Burkina-Faso

Pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie
DAA AgroParisTech, Spécialité AGER Agronomie Environnement

Maîtres de stage CIRAD : Nadine ANDRIEU, Patrick DUGUE, Pierre-Yves LE GAL
Enseignant tuteur AgroParisTech : Stéphane de TOURDONNET

Remerciements

Après ces six mois de stage aussi passionnant que formateur, je souhaite remercier vivement :

- *Mes trois maîtres de stage, si complémentaires, et qui m'ont encadrée au mieux du début à la fin : Nadine Andrieu, merci pour votre accueil à Bobo et votre accompagnement tout au long du séjour ; Patrick Dugué, merci pour votre suivi et vos conseils toujours pointus en agronomie tropicale ; Pierre-Yves Le Gal, merci pour vos remarques constructives et votre aide dans la formalisation du mémoire. A tous les trois, un immense merci pour les relectures patientes de mes travaux et la pertinence de vos corrections lors de la rédaction du rapport final. Vous êtes de précieux encadrants et ce stage auprès de vous aura été extrêmement formateur.*

- *Les autres collègues du Cirad : Eric Vall, merci pour votre aide en zootechnie ; Eduardo Chia, merci pour votre regard de sociologue sur l'étude et pour votre gentillesse. Merci aussi à Eric et Marc avec qui tout avait commencé.*

- *Les membres du Cirdes : Augustin Kanwee, responsable de l'unité URPAN, pour son aide dans la préparation des missions de terrain ; Innocent Bayala, pour son aide et sa motivation dans ce travail, ainsi que pour son extrême gentillesse ; Alphonse Sanou, pour sa bonne humeur lors des missions de terrain ; Laurent Sawadogo pour son aide logistique toujours avec le sourire. Et aussi merci pour les sourires de Jean Nana, Bamba, la documentaliste, les secrétaires, les gardiens. Ça a été un réel plaisir de travailler auprès de vous.*

- *Mes collègues stagiaires et doctorants au Cirdes : Aristide, Zoumana, Diallo, Mélanie, Kalifa, Charles. Merci à vous pour votre présence et tous les bons moments passés ensemble à Bobo et ses alentours. Et bonne continuation au Cirdes !*

- *Tous les producteurs de Koumbia, pour leur accueil, leur aide et leurs explications au cours des missions au village. Merci de m'avoir consacré ce temps et d'avoir joué le jeu jusqu'au bout. Merci aussi à Arouna Sawadogo pour ses traductions, au CCV et surtout à Lacina Traoré (UDPC-K) et Haoua Traoré (Sofitex) pour leur accueil et leur aide sur le terrain.*

- *Tous les membres du CCV de Kourouma qui m'ont chaleureusement accueillie au village et parfaitement organisé les rencontres avec les producteurs. Merci pour leur investissement dans ce projet et l'agréable mission à Kourouma.*

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce stage qui me tenait tant à cœur. Grâce à cela, je pourrai continuer en thèse à l'automne.
Merci aussi à ceux sans qui mon séjour au pays des Hommes intègres n'aurait pas été aussi intense, touchant et tout simplement inoubliable… Merci à Marie mon acolyte, Djénéba ma grande sœur si précieuse, Daouda Aminata et papa Abou pour vos grands coeurs, Adama, Ami, Vincent, Sandrine et Jean-Pierre. Merci à tous d'avoir ensoleillé le séjour ! Merci aussi à mes visiteurs de mai et juin.

Et surtout, merci à mes proches qui m'ont tant soutenue, depuis mon premier pas Burkinabé jusqu'à la dernière page de ce rapport. Merci pour votre soutien et votre affection qui m'aident à toujours avancer !

Table des matières

TABLE DES MATIERES 4
LISTE DES TABLEAUX 6
LISTES DES FIGURES 6
LISTE DES ABREVIATIONS 7

INTRODUCTION 1

I. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE 2

I.1) CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE : LA REGION COTONNIERE DE L'OUEST DU BURKINA-FASO 2
I.1.1) Géographie de la zone d'étude 2
I.1.2) Un contexte pédoclimatique de savanes ouest africaines 3
- Un climat sahélo-soudanais 3
- Des sols majoritairement ferrugineux tropicaux 3
- Un paysage de savanes arbustives et boisées 3

I.1.3) Contexte agraire de la région 4
- Le coton, culture majoritaire de la zone d'étude, et première culture d'exportation au Burkina-Faso 4
- Une forte pression sur les ressources agrosylvopastorales et des relations difficiles entre agriculture et élevage 5

I.2) CONTEXTE SCIENTIFIQUE : LE PROJET CORUS FAISANT SUITE AU PROJET TERIA 7
I.2.1) Le projet TERIA 7
I.2.2) Le projet CORUS 7
I.3) PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE RECHERCHE 8
I.4) OBJECTIFS DU STAGE 10

II. METHODE MISE EN ŒUVRE 10

II.1) METHODE GENERALE 10
II.2) GRILLE D'ANALYSE DES DECISIONS 11
II.2.1) Référentiel théorique : le modèle pour l'action 11
II.2.2) Les six composantes du fonctionnement des exploitations dont on étudie les règles de décision 11
- La constitution des assolements 12
- La gestion de l'installation des cultures 12
- La gestion de la fertilisation 12
- L'allotement des animaux 12
- L'alimentation des animaux, par lot 12
- La production de matière organique 12

II.3) DEROULEMENT DES ENQUETES A KOUMBIA 13
II.3.1) Choix d'un village d'étude 13
II.3.2) Choix d'un échantillon de producteurs 13
II.3.3) Enquêtes de planification avant le début de la campagne 14
II.3.4) Enquêtes de suivi de campagne 14
II.4) TRAITEMENT DES DONNEES, ELABORATION DU MODELE CONCEPTUEL, ET IMPLEMENTATION DU SIMULATEUR EXCEL 15
II.4.1) Traitement des données d'enquêtes 15
II.4.2) Elaboration du modèle conceptuel 15
II.4.3) Implémentation du simulateur Excel 15
II.5) VALIDATION DU MODELE CONSTRUIT 16
II.5.1) Cadre théorique 16
II.5.2) Méthode de validation du modèle élaboré 16
II.6) SIMULATION DE QUELQUES SCENARIOS 17

III. RESULTATS 18

III.1) ANALYSE DES REGLES DE DECISION REGISSANT LES SYSTEMES DE PRODUCTION A BASE DE COTON CEREALES ELEVAGE : UNE FORTE OPPOSITION AGRICULTEURS / ELEVEURS 18
III.1.1) Décisions de constitution de l'assolement : la priorité au maïs 19
- Choix des cultures 19
- Surfaces allouées aux cultures 19
- Allocation des différentes cultures aux parcelles 21

III.1.2) Décisions d'installation des cultures : une étape soumise aux conditions climatiques et faisant l'objet d'ajustements de surface 23
- Calendrier des semis 23

- Réajustements de surface en cours de campagne ... 25
- Resemis ... 26

III.1.3) Décisions de fertilisation : vers une plus grande valorisation de la fumure organique ... 26
III.1.4) Décisions d'allotement du troupeau, facteur d'intégration agriculture élevage ... 27
III.1.5) Décisions d'affourragement du troupeau : trois périodes distinctes ... 28
III.1.6) Décisions de production de fumure organique : deux modalités principales, le parcage en champs et le fumier de fosse ... 30

III.2) CONSTRUCTION DU SIMULATEUR ... 31

III.2.1) Objectifs du simulateur : un outil de calcul simple permettant une réflexion stratégique au niveau des exploitations ... 31

- Types de questions auxquelles doit répondre le modèle ... 31
- Choix du type de modèle à développer ... 32

III.2.2) Elaboration du modèle conceptuel ... 32

- Structure du modèle conceptuel : sept modules ... 32
- Réflexion sur le pas de temps du modèle ... 33
- Trois scénarios climatiques ... 34

III.2.3) Structure du modèle et hypothèses de construction des modules ... 35

- Module « ressources de l'exploitation » ... 35
- Module « système d'élevage » ... 36
- Module « système de culture » ... 38
- Module « rations » ... 40
- Module « production de fumure organique » ... 41
- Module « fertilisation » ... 42
- Module « économie » ... 43

III.3) VALIDATION DU MODELE ... 44
III.4) ETUDE DE QUELQUES SCENARIOS D'EVOLUTION ... 46

III.4.1) Situation initiale de l'exploitation ... 46
III.4.2) Premier scénario : réduction de la sole cotonnière au profit du maïs ... 47

- Définition du scénario 1 ... 47
- Résultats de la simulation du scénario 1 : une amélioration nette des bilans alimentaire et fourrager ... 47
- Réflexion sur l'orientation stratégique de l'agriculteur A ... 49

III.4.3) Deuxième scénario : intégration d'un petit atelier d'embouche ... 49

- Définition du scénario 2 ... 49
- Résultats de la simulation du scénario 2 : une amélioration plus nette des résultats économiques ... 50
- Réflexion sur les orientations stratégiques possibles de l'agriculteur A ... 51

IV. DISCUSSION ... 51

IV.1) INTERETS ET LIMITES DE L'ETUDE ... 51

IV.1.1) Principaux intérêts ... 51
IV.1.2) Retour critique sur les méthodes ... 52
IV.1.3) Retour critique sur les résultats fournis ... 53

- Une analyse des décisions à approfondir grâce à un dispositif de suivi permanent ... 53
- Un modèle qui simplifie la réalité ... 53

IV.2) PERSPECTIVES DE L'ETUDE ... 54

CONCLUSION ... 56

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ... 57

ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DES 9 TYPES D'UNITES DE PRODUCTION IDENTIFIEES A KOUMBIA (CLASSIFICATION DE BLANCHARD, 2005) ... 59
ANNEXE 2 : GUIDE D'ENTRETIEN POUR LES ENQUETES DE PLANIFICATION - VILLAGE DE KOUMBIA ... 61
ANNEXE 3 : FICHE DE SUIVI DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ... 70

Annexe 3.1 : Extrait des fiches de suivi des activités (à remplir par le producteur) ... 70
Annexe 3.2 : Guide d'entretien pour le suivi ... 72

ANNEXE 4 : REGLES DE DECISION DES PRODUCTEURS POUR SIX COMPOSANTES DU FONCTIONNEMENT DE LEUR EXPLOITATION ... 75
ANNEXE 5 : EQUATIONS DU SIMULATEUR EXCEL ... 81
ANNEXE 6 : MODIFICATIONS DU MODELE APRES L'ETAPE DE VALIDATION A DIRE D'EXPERTS ... 106

RESUME ... 108

ABSTRACT ... 108

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DU VILLAGE DE KOUMBIA, TIRE DE VALL ET AL. (2006) 13
TABLEAU 2 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES SIX EXPLOITATIONS ENQUETEES A KOUMBIA (DONNEES 2008) 18
TABLEAU 3 : COMPARAISON DES ASSOLEMENTS 2007 ET 2008 POUR DEUX PRODUCTEURS ORIENTES « ELEVAGE » 21
TABLEAU 4 : EXEMPLES D'AJUSTEMENTS DE SURFACES EN 2008 POUR DEUX PRODUCTEURS (A2 ET E1) 26
TABLEAU 5 : CLASSIFICATION DES SAISONS DES PLUIES PAR LES AGRICULTEURS (VALL ET AL., 2008) 34
TABLEAU 6 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIES DU MODULE "RESSOURCES" 35
TABLEAU 7 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODULE "SYSTEME D'ELEVAGE" 37
TABLEAU 8 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODULE "SYSTEME DE CULTURE" 40
TABLEAU 9 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODULE "RATIONS" 41
TABLEAU 10 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODULE "PRODUCTION DE FUMURE ORGANIQUE" 42
TABLEAU 11 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODULE "FERTILISATION" 43
TABLEAU 12 : VARIABLES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODULE "ECONOMIE" 44
TABLEAU 13 : CARACTERISTIQUES TECHNICO-ECONOMIQUES DE L'EXPLOITATION A (DONNEES D'ENTREE) 46
TABLEAU 14 : MODIFICATIONS IMPLIQUEES PAR LE SCENARIO 1 DANS L'EXPLOITATION A 47
TABLEAU 15 : COMPARAISON DU BILAN MINERAL SUR MAÏS DE L'EXPLOITATION A POUR UNE ANNEE MOYENNE (SCENARIO INITIAL VS. SCENARIO 1) 48
TABLEAU 16 : MODIFICATIONS IMPLIQUEES PAR LE SCENARIO 2 DANS L'EXPLOITATION A 49
TABLEAU 17 : PARAMETRES DU MODULE "RESSOURCES DE L'EXPLOITATION" 81
TABLEAU 18 : PARAMETRES DU MODULE "SYSTEMES D'ELEVAGE" 85
TABLEAU 19: PARAMETRES DU MODULE "SYSTEMES DE CULTURE" 92
TABLEAU 20 : PARAMETRES DU MODULE "RATIONS" 95
TABLEAU 21 : PARAMETRES DU MODULE "FUMURE ORGANIQUE" 98
TABLEAU 22 : PARAMETRES DU MODULE « FERTILISATION » 100
TABLEAU 23 : PARAMETRES DU MODULE « ECONOMIE » 102
TABLEAU 24 : PARAMETRES LIES A LA MORTALITE DES ANIMAUX, EN FONCTION DES SCENARIOS CLIMATIQUES 106

Listes des figures

FIGURE 1 : CARTE ADMINISTRATIVE DE L'OUEST DU BURKINA-FASO (DAHO, 2006) 2
FIGURE 2 : PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE DE LA ZONE D'ETUDE (BOBO-DIOULASSO, 1980-2007) 3
FIGURE 3 : CARTE DE LA COUVERTURE VEGETALE ET DE L'OCCUPATION DES SOLS DU TERRITOIRE DE KOUMBIA ET WALY (PROVINCE DU TUY), IMAGE LANDSAT - TM (BLANCHARD, 2005) 4
FIGURE 4 : SCHEMATISATION DES INTERRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES COMPOSANTES ETUDIEES DU FONCTIONNEMENT DES EXPLOITATIONS (CHAQUE FLECHE SIGNIFIE « INFLUE SUR ») 11
FIGURE 5 : ASSOLEMENTS 2008 DES EXPLOITATIONS ENQUETEES : NOMBRE D'HECTARES ET PART DE CHAQUE CULTURE DANS LA SURFACE TOTALE CULTIVEE 20
FIGURE 6 : SCHEMATISATION DE LA SUCCESSION D'ASSOLEMENT 2007-2008 CHEZ A2, AGRICULTEUR ORIENTE « COTON » 22
FIGURE 7 : EXEMPLES DE CALENDRIER DE SEMIS 2008 POUR TROIS TYPES DE PRODUCTEURS (A2, AE2B, E2) 24
FIGURE 8 : SCHEMA DES ORIENTATIONS STRATEGIQUES POUR LA DECISION "ALLOTEMENT" 28
FIGURE 9 : EXEMPLES DE CALENDRIERS D'AFFOURRAGEMENT POUR UN AGRICULTEUR ET UN ELEVEUR (2007-2008) 29
FIGURE 10 : MODELE CONCEPTUEL UTILISE POUR IMPLEMENTER LE SIMULATEUR EXCEL 33
FIGURE 11 : DISCUSSIONS COLLECTIVES AVEC LES EXPERTS DE TERRAIN POUR LA VALIDATION DU MODELE 45
FIGURE 12 : COMPARAISON DES BILANS ALIMENTAIRE ET FOURRAGER DE L'EXPLOITATION A POUR TROIS ANNEES CLIMATIQUES (SCENARIO INITIAL VS. SCENARIO 1) 48
FIGURE 13 : COMPARAISON DE LA QUANTITE DE FO EPANDUE SUR MAÏS DANS L'EXPLOITATION A POUR TROIS ANNEES CLIMATIQUES (SCENARIO INITIAL VS. SCENARIO 1) 48
FIGURE 14 : COMPARAISON DU BILAN ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION A POUR TROIS ANNEES CLIMATIQUES (SCENARIO INITIAL VS. SCENARIO 1) 49
FIGURE 15 : COMPARAISON DU STOCK ET DE L'EXCEDENT FOURRAGER DE L'EXPLOITATION A POUR TROIS ANNEES CLIMATIQUES (SCENARIO 1 VS. SCENARIO 2) 50
FIGURE 16 : COMPARAISON DU BILAN ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION A POUR TROIS ANNEES CLIMATIQUES (SCENARIO 1 VS. SCENARIO 2) 51

Liste des abréviations

BdT : bœuf de trait
BE : bovin d'élevage
CCV : Comité de Coordination Villageois
Cirad : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Cirdes : Centre International de Recherche Développement sur l'Elevage en zone Sub-humide
Comm.pers : Communication personnelle
Cnearc : Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes
CultFrg : cultures fourragères
CultSec : cultures secondaires
DRAHRH : Direction Régionale de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
Emb : bovin d'embouche
FAO : Food and agriculture organisation
FO : fumure organique
GPC : Groupement de Producteurs de Coton
IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier
Inra : Institut National de la Recherche Agronomique (France)
MS : Matière Sèche
PR : petit ruminant
RAP : Recherche Action en Partenariat
RdC : résidu de culture
SD : semis direct
SOFITEX : Société Burkinabé des Fibres Textiles
SSC : saison sèche chaude
SSF : saison sèche froide
STC : Surface Totale Cultivée
TdC : tourteau de coton
UMR : Unité Mixte de Recherche
UNPCB : Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina-Faso
UP : Unité de Production
URPAN : Unité de Recherche sur les Productions ANimales
VL : vache laitière

Introduction

Dans les savanes ouest africaines, et en particulier dans le bassin cotonnier de l'Ouest du Burkina-Faso, les exploitants agricoles sont confrontés à une pression de plus en plus forte sur les ressources agrosylvopastorales. En effet, depuis une trentaine d'années, on a vu la culture attelée se développer, avec pour conséquence une extension des surfaces cultivées au détriment des surfaces pastorales. Or, les populations humaine et animale ont continué à croître dans les territoires villageois, notamment en raison de l'installation de paysans migrants dans le Sud et l'Ouest du pays. Ainsi, la pression foncière s'est accrue, ce qui entraîne un abandon des jachères par les agriculteurs, une mise en culture continue des terres, et une compétition pour les ressources du terroir (terres cultivables, pâturages de parcours collectifs, points d'eau, ligneux…).

Cette situation est à l'origine de nombreux conflits entre activités agricoles et pastorales, jusque là menées par des ethnies différentes. Cette crise des systèmes agropastoraux remet aussi en cause la fertilité des sols, ainsi définie par Pichot (1993) cité par (Schwartz, 1994): « *aptitude à satisfaire durablement les besoins des populations rurales au travers des systèmes de production et d'aménagement qu'elles mettent en œuvre* ». Par ailleurs, avec l'actuelle baisse du prix du coton et la hausse de celui des intrants, les producteurs tendent à réduire la sole cotonnière et la fertilisation minérale associée, au profit de la sole céréalière et d'une plus grande valorisation de la fumure organique, produite par des troupeaux résidents en augmentation. Ainsi, ces modifications d'assolement et de gestion de la fertilité, couplée à un renforcement des activités d'élevage, remettent en question le fonctionnement d'ensemble de l'exploitation. Placés dans un environnement naturel et économique en pleine mutation, les agriculteurs et éleveurs doivent faire évoluer leurs systèmes de production, afin répondre à leurs besoins immédiats alimentaires et économiques, tout en s'assurant de leur durabilité à plus long terme. Ceci renvoie à une meilleure compréhension des relations agriculture élevage, à l'échelle de l'exploitation et du territoire villageois. La recherche peut les y aider en développant des démarches d'accompagnement à la conception et mise en œuvre de ces systèmes de production innovants.

Le Cirad et le Cirdes, ont récemment collaboré dans le cadre du projet TERIA, précisément pour accompagner les producteurs et concevoir/expérimenter des systèmes de production performants et durables, assurant une meilleure intégration agriculture élevage. La suite de ce travail, le projet CORUS, a pour but de mettre au point un outil de dialogue entre producteurs, techniciens et chercheurs facilitant la co-construction de ces systèmes de production.

Dans ce contexte, mon stage (entrant dans le cadre du projet CORUS porté par le Cirad et le Cirdes) avait pour objectifs de comprendre l'actuel fonctionnement des exploitations, de façon à pouvoir élaborer un outil de calcul et de réflexion stratégique sur les évolutions possibles de ces systèmes et les conséquences sur leurs performances technico-économiques. Ainsi, nous avons cherché à répondre à deux questions :

- Quelles sont les règles de décision régissant le fonctionnement technico-économique des systèmes de production « coton céréales élevage », en fonction des principales orientations stratégiques des producteurs ? Et comment les formaliser ?
- Comment traduire ces règles pour créer un outil de calcul simple qui permette aux producteurs et techniciens de mener une réflexion stratégique à l'échelle de l'exploitation ?

Pour cela nous avons basé notre terrain d'étude dans un village représentatif du bassin cotonnier de l'Ouest du Burkina-Faso, et déjà partenaire des projets TERIA et CORUS.

Dans ce rapport, nous présenterons dans un premier temps le contexte de l'étude et sa problématique. Puis, nous reviendrons sur la méthode mise en œuvre, avant de présenter les résultats (analyse des décisions, élaboration de l'outil de calcul et exemple d'utilisation possible). Enfin, nous discuterons des intérêts et limites de cette étude avant d'en donner les perspectives possibles.

I. Contexte et problématique de l'étude

I.1) Contexte général de la zone : la région cotonnière de l'Ouest du Burkina-Faso

I.1.1) Géographie de la zone d'étude

Notre zone d'étude se situe dans la partie Ouest du Burkina-Faso, comprenant le principal bassin de production de coton du pays. Regroupant 15 provinces administratives (Figure 1), cette grande région agricole occupe environ un quart du territoire national avec 70 000 km² et abrite 21% de la population nationale. Elle se situe entre les latitudes 9°3 Sud et 14° Nord, et est limitée par les isohyètes 700 mm et 1100 mm respectivement au Sud et au Nord (Barbier, 1994, cité par Daho, 2006). Du fait de cette pluviométrie relativement abondante, l'Ouest du Burkina-Faso correspond à la région disposant des meilleures potentialités agricoles du pays.
D'après Pigé et al. (1999) cité par Daho (2006), les principales ethnies autochtones de l'Ouest sont les groupes Bobo, Sénoufo, Lobi et métisses. Les allochtones les plus nombreux sont les Mossis qui ont émigré depuis le plateau central, ainsi que les Peuls, ethnie spécialisée dans l'élevage de grands troupeaux et qui s'est peu à peu sédentarisée dans la région.

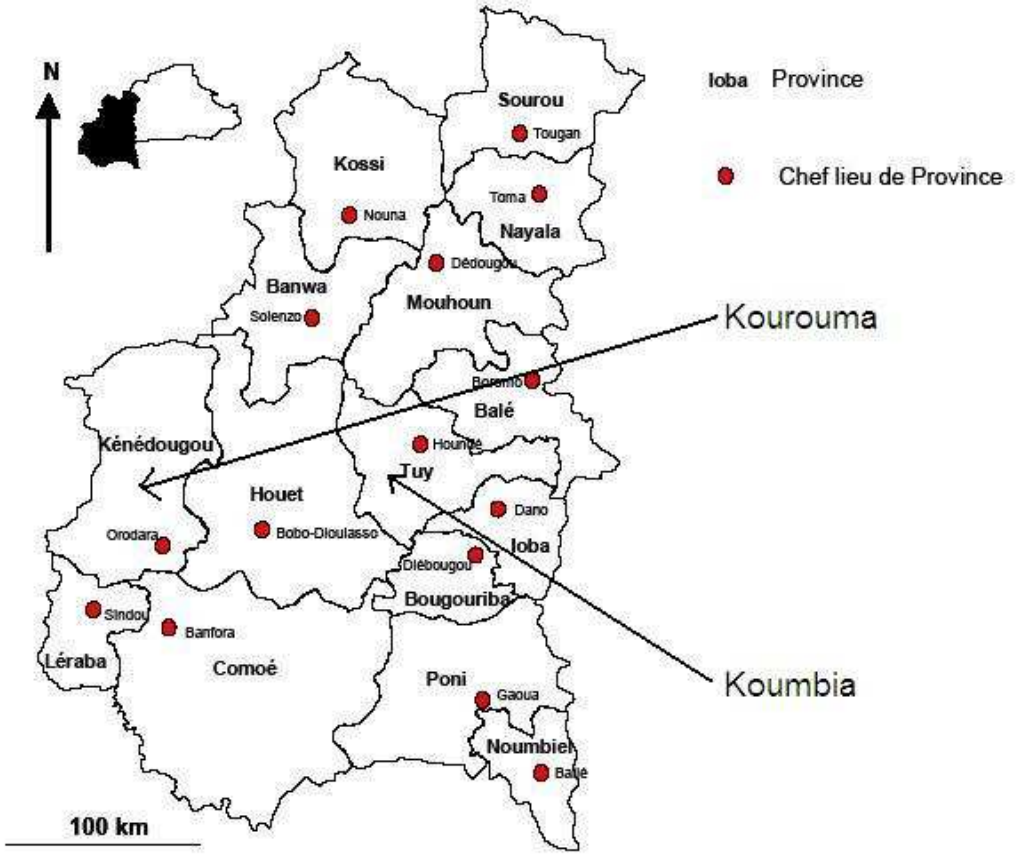


Figure 1 : Carte administrative de l'Ouest du Burkina-Faso (Daho, 2006)

I.1.2) Un contexte pédoclimatique de savanes ouest africaines

- *Un climat sahélo-soudanais*

La pluviométrie annuelle de la zone d'étude varie entre 800 et 1 100 mm/an. Le climat, défini comme sahélo-soudanais par la classification climatique d'Aubréville citée par (Blanchard, 2005), se caractérise par une longue saison sèche de huit mois d'octobre à mai (froide d'octobre à février, puis chaude de mars à avril) et par une courte saison des pluies de quatre mois de juin à septembre (> 100 mm de précipitations par mois ; Figure 2). Les mois de mai et octobre constituent des périodes de transition et peuvent enregistrer des pluies utiles pour l'agriculture et l'élevage (labour et semis précoce en mai, alimentation en eau utile en octobre pour les cultures semées tardivement). La FAO définit ainsi la zone agro-climatique comme semi-aride, avec 90 à 180 jours de croissance de végétation.
Ce climat permet une relativement bonne exploitation des terres agricoles (coton, maïs, sorgho, niébé etc.) mais les dernières années ont été marquées par un déficit pluviométrique important, qui a pénalisé les résultats agricoles (Vall et al., 2008).

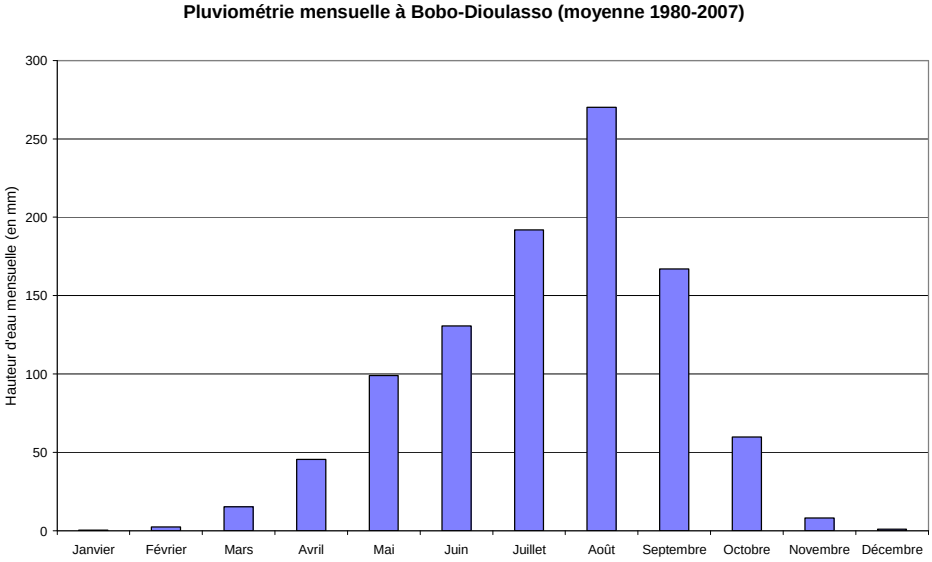


Figure 2 : Pluviométrie mensuelle moyenne de la zone d'étude (Bobo-Dioulasso, 1980-2007)

- *Des sols majoritairement ferrugineux tropicaux*

Dans notre zone d'étude, les sols ferrugineux tropicaux sont dominants (Collectif, 2006), mais on observe des différences importantes entre localités. Ainsi, un diagnostic dans la province du Tuy révèle des sols sablonneux peu fertiles développés sur roches granitiques (Blanchard, 2005), tandis qu'un autre diagnostic dans la province du Kénédougou décrit des sols profonds (environ 2 m) plus favorables à l'agriculture (Daho, 2006).
En raison de leurs différents niveaux de fertilité, les types de sol de notre zone d'étude présentent donc des potentialités agricoles variables, ce qui entraîne une diversité des pratiques de gestion de la fertilité (utilisation d'engrais minéraux et de la fumure organique).

- *Un paysage de savanes arbustives et boisées*

La végétation du domaine soudanien domine avec des savanes arbustives et boisées (Blanchard, 2005 ; Daho, 2006). Cela dit, étant donnée la forte pression sur les ressources et

l'importante emprise agricole de la zone, les formations boisées le plus souvent sont réduites à la périphérie du territoire villageois ou le long des cours d'eau. Le reste du territoire est occupé par les champs cultivés au centre du village, puis par des savanes herbeuses réservées à l'élevage en saison des pluies. La figure 3 illustre cette description de l'occupation des sols par l'exemple du territoire de Koumbia et Waly (Blanchard, 2005).

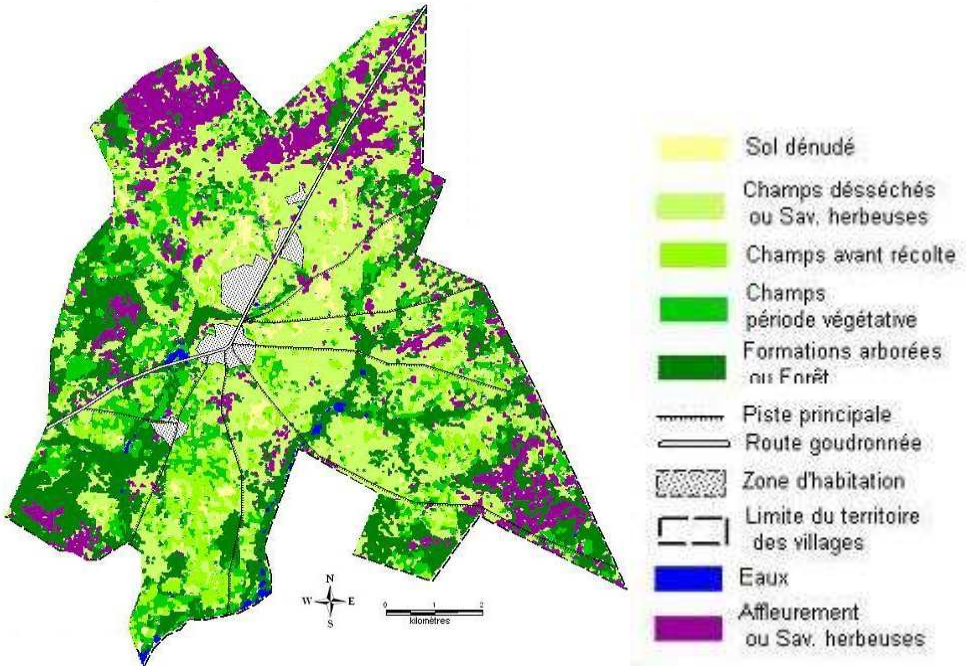


Figure 3 : Carte de la couverture végétale et de l'occupation des sols du territoire de Koumbia et Waly (province du Tuy), image Landsat - TM (Blanchard, 2005)

I.1.3) Contexte agraire de la région

Dans l'Ouest du Burkina-Faso, le système de production majoritaire est essentiellement basé sur les **cultures annuelles (coton et céréales)**, et l'**élevage bovin**. Le coton et le maïs représentent respectivement jusqu'à un tiers et un quart des assolements (Blanchard, 2005). D'une province à l'autre, et même d'une exploitation agricole à l'autre, les systèmes sont cependant très variables et diversifiés. En effet, suivant les zones considérées, la pression sur les ressources agrosylvopastorales est plus ou moins forte, et les systèmes de production mis en place s'en trouvent modifiés (place de la jachère, importance de la sole cotonnière/céréalière, place de l'élevage, utilisation de fumure organique etc.).
Les provinces de notre zone d'étude (Kénédougou, Houet et Tuy) sont caractérisées par de fortes pressions anthropiques. En effet, la population agricole a augmenté depuis une vingtaine d'années, en raison du croît naturel mais surtout en raison des migrations de populations en provenance de zones relativement surpeuplées du Nord et du Centre, vers des zones moins peuplées et à meilleur potentiel agricole plus au Sud (Barbier et Benoît-Cattin, 1997).

- *Le coton, culture majoritaire de la zone d'étude, et première culture d'exportation au Burkina-Faso*

Le coton est la première culture d'exportation du Burkina-Faso, avec près de 180 000 millions de tonnes exportées en 2004, pour une valeur de plus de 264 millions US $ (FAO, 2004). Depuis la fin des années 1950, la culture du coton a permis le passage d'une

agriculture manuelle et sans intrants à une agriculture mécanisée (attelée et parfois motorisée), et utilisatrice d'intrants (engrais, pesticides). En effet, grâce aux services mis en place (crédit, vulgarisation, centre de dressage des animaux de trait etc.), la filière coton a contribué à la diffusion de nouvelles techniques culturales (principalement la traction animale). Une étude sur la mécanisation au Burkina-Faso (Faure, 1994) a ainsi montré que le nombre de bœufs de trait est passé de 3 900 en 1972 à 42 000 en 1982. En conséquence, ceci a permis la mise en cultures de surfaces plus importantes (Vall et al., 2006).

Au Burkina-Faso, seule la production de coton est structurée en une filière intégrée et compétitive : dès les années 1950 est créée la compagnie française de développement du textile CFDT. Celle-ci encourage la production en quantité et en qualité, avec des prix incitatifs et fixés avant le début des semis. Dans les années 1980, les producteurs s'organisent en groupements villageois, puis en groupements de producteurs de coton GPC à partir de 1996. Actuellement, deux acteurs principaux structurent la filière coton : la SOFITEX[1], groupe agroindustriel public et l'UNPCB (Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina-Faso), à vocation syndicale et professionnelle. Dans l'Ouest du pays, la SOFITEX est responsable de la multiplication des semences, de l'appui technique aux producteurs (via 120 correspondants coton et 300 agents techniques coton), de la distribution des intrants, de la sécurisation du crédit, de l'égrenage du coton graine et de la vente des fibres et des graines. Chaque année, un accord interprofessionnel fixe un prix de cessation des intrants et un prix de base payé aux producteurs pour le coton graine (Deveze et Halley des Fontaines, 2004).

Face au caractère aléatoire du prix des cultures vivrières, la fixation du prix de vente du coton en début de campagne permet donc dans une certaine mesure de sécuriser le revenu des agriculteurs et d'orienter leur choix d'assolement. En outre, l'accès au crédit et aux intrants pour les producteurs est moteur de l'intensification des systèmes techniques. Dans le bassin cotonnier, l'accès aux fertilisants minéraux bénéficie aux autres cultures vivrières, notamment au maïs qui constitue la base de la consommation céréalière des ménages, et qui représente plus de 75% de la sole céréalière (Dugué, comm. pers.). En outre, les assolements et rotations mis en œuvre permettent aux cultures vivrières pluviales de valoriser l'arrière effet de la fertilisation du cotonnier.

Cependant, même si la part du cours mondial perçue par les producteurs est une des plus élevées au monde jusqu'en 2004 (Deveze et Halley des Fontaines, 2004), la filière coton au Burkina-Faso se heurte depuis quelques années à une baisse du prix payé aux producteurs : de 200 Fcfa/kg de coton-graine premier choix en 2001/2002, le prix est passé à 145 Fcfa/kg en 2007/2008, pour remonter légèrement à 165 Fcfa/kg en 2008/2009. Cette tendance décourage les producteurs de choisir une part élevée de coton dans les assolements, d'autant plus que le prix des intrants augmente en parallèle, et ce malgré les subventions[2].

- *Une forte pression sur les ressources agrosylvopastorales et des relations difficiles entre agriculture et élevage*

Agriculture et élevage sont longtemps restés le fait de groupes ethniques différents au Burkina-Faso (Dugué et al., 2004). Pourtant, avec l'arrivée de nombreux paysans migrants et d'éleveurs Peuls du Nord du pays, agriculteurs et éleveurs ont peu à peu été contraints de

[1] Deux sociétés cotonnières privées de plus faible envergure (FASOCOTON, SOCOMA) opèrent dans le centre sud et l'est du pays.
[2] Entre les campagnes 2007 et 2008, le prix du sac de NPK et d'urée n'a toutefois pas évolué grâce aux subventions de l'Etat : il est resté à 13 200 Fcfa et 14 400 Fcfa respectivement le sac de 50 kg de NPK et d'urée.

cohabiter sur les mêmes territoires. Ceci nécessite donc de nouvelles surfaces pour l'alimentation de ces troupeaux (parcours naturels…), et/ou mobilise des ressources plus importantes issues de l'agriculture (résidus de récolte, tourteaux…).

Tant que la pression anthropique est restée modérée, on a assisté non pas à une intensification des systèmes de production, mais à une extension des surfaces cultivées et des cheptels (Vall et al., 2006). L'équilibre pouvait être maintenu tant que la densité de population était modérée (20-50 habitants/km²), que la charge animale était assez élevée (30 UBT/km²) et assurait des restitutions organiques suffisantes, et que l'espace des parcours naturels couvrait les besoins fourragers (Dugué, 1998). La jachère contribuait aussi au maintien de la fertilité des systèmes.

Lorsque la pression anthropique devient trop forte, l'immigration ralentit, et on assiste à la fois à l'accroissement des surfaces cultivées au détriment des surfaces de parcours, et à une intensification de l'agriculture (recherche d'augmentation de la production par hectare, via l'investissement en intrants et en travail : abandon de la jachère au profit d'une mise en culture continue, plus grande valorisation de la fumure organique, recours aux herbicides). Lorsque les producteurs ont difficilement accès aux intrants (aliments du bétail, engrais etc.), cette situation peut potentiellement provoquer une crise agropastorale : le déficit de gestion communautaire entre activités agricoles et pastorales conduit à de nombreuses tensions entre agriculteurs et éleveurs pour l'accès aux ressources. Les principales raisons des conflits sont : l'installation de cultures sur les parcours collectifs rendant difficiles le déplacement des troupeaux, les dégâts qu'occasionnent les animaux sur les cultures, l'appropriation par certains des ressources fourragères collective et la remise en question du droit de vaine pâture (= droit de faire pâturer son bétail sur des terrains non clos après les récoltes dont on n'est pas propriétaire ; Dugué, 1999).

Toutefois, même si la coexistence de ces activités peut déclencher certains conflits, il ne faut pas oublier que les relations agriculture élevage permettent un certain nombre de synergies positives et de flux économiques, à l'échelle des unités de production ou à l'échelle des terroirs (Lhoste, 2004) : l'énergie et le transport peuvent être assurés par les animaux d'élevage ; les systèmes de culture participent à l'alimentation des animaux (fourrages, résidus de culture…) ; les troupeaux assurent la production de matière organique permettant de fertiliser les zones cultivées.

Dans les systèmes agricoles de savanes où la pression sur les ressources est importante, et où les bilans minéraux annuels sont souvent déficitaires malgré l'utilisation d'engrais minéraux, la disponibilité en fumure animale pourrait être un atout majeur pour entretenir la fertilité du sol, au moins dans les exploitations possédant du bétail (Dugué, 1998). En effet, les herbivores peuvent pâturer certaines ressources (parcours collectifs et arbres fourragers) et fertiliser par leurs déjections, les surfaces cultivées, ce qui permet une redistribution spatiotemporelle efficace des éléments fertilisants (Dugué, 1998). L'apport de fumure organique a d'autres avantages tels que l'amélioration de la capacité de fixation et d'échange des éléments nutritifs, et l'amélioration de la structure et de la vie biologique du sol (Lhoste, 2004).

Conscients des intérêts agronomiques de l'association agriculture élevage, certains éleveurs commencent donc à se sédentariser et à cultiver des cultures vivrières et/ou fourragères, et certains agriculteurs commencent à investir dans des petits ateliers d'élevage. L'émergence de cette classe d'agro-éleveurs révèle toutefois des systèmes perfectibles en termes d'intégration de l'agriculture et de l'élevage au sein de la même unité de production (Vall et al., 2006).

I.2) Contexte scientifique : le projet CORUS faisant suite au projet TERIA

I.2.1) Le projet TERIA

Mené entre 2005 et 2007, il avait pour but de mettre au point, avec les producteurs, des pratiques innovantes participant au développement de l'intégration entre agriculture et élevage, et à l'amélioration des systèmes de production dans l'Ouest du Burkina-Faso. Ces innovations agropastorales peuvent être conçues à l'échelle individuelle (exploitation agricole) ou collective (territoire et ressources du village). Amitié en dioula se dit TERIA, et c'est aussi l'acronyme de Territoire, Elevage, Ressources naturelles, Innovation et Agriculture (Chia, 2006).
Ainsi, via un travail de recherche action en partenariat RAP (par opposition à une approche techniciste ou analytique), le projet TERIA a cherché à développer l'« amitié » entre agriculteurs et éleveurs. Chercheurs, producteurs et conseillers ont donc travaillé ensemble, pour co-construire des innovations organisationnelles et techniques, et améliorer les performances technico-économiques des exploitations (rentabilité, productivité), ainsi que les relations entre activités agricoles et pastorales (via la création de comités de coordination villageois (CCV = Cadres de concertation créés dans les villages où sont représentés agents techniques, éleveurs et agriculteurs, afin de piloter les actions des projets de recherche en cours ; des expérimentations en milieu paysan ; des rencontres entre producteurs burkinabés et maliens, etc.).
Ce projet a eu lieu sur deux terrains d'études qui sont les villages de Koumbia et Kourouma (Figure 1), caractérisés par de fortes pressions anthropiques sur les ressources (fortes densités de population et du bétail, importante emprise agricole), rendant nécessaire une réflexion sur le mode de gestion des ressources naturelles et des exploitations agricoles.

I.2.2) Le projet CORUS[1]

Depuis fin 2007 et jusqu'en 2010, il fait suite au projet TERIA. Utilisant la même démarche de recherche action en partenariat, il a pour objectif général de co-construire avec les producteurs des outils de dialogue et de diagnostic pour améliorer l'articulation entre systèmes de culture et systèmes d'élevage en zone cotonnière. Le projet CORUS fait en particulier le pari que la **modélisation** « peut servir d'objet intermédiaire entre chercheurs et producteurs et faciliter la conception d'innovations organisationnelles pour des systèmes durables articulant agriculture et élevage » (Andrieu, 2006).

Ainsi, l'objectif du projet CORUS est de construire un modèle à l'échelle de l'exploitation agricole, comportant des modules biophysique et décisionnel, afin de (1) analyser le fonctionnement technico-économique des systèmes de production, (2) renforcer les synergies entre agriculture et élevage dans les systèmes mixtes grâce à la conception de systèmes de culture et d'élevage innovants à l'échelle de l'exploitation, et (3) améliorer leurs impacts sur les ressources agrosylvopastorales (en particulier la fertilité du sol) (Collectif, 2006). Le sous-modèle biotechnique devrait simuler le fonctionnement technique de l'exploitation, les interactions entre systèmes de culture et d'élevage (en tenant compte de la variable pluviométrique), et donner des sorties technico-économiques. Le sous-modèle décisionnel quant à lui devrait traduire de façon générique les règles de gestion et les stratégies des producteurs pour le pilotage de leur exploitation.

[1] Projet Corus : « conception d'une modélisation robuste à l'échelle de l'exploitation pour l'élaboration de règles permettant la gestion de systèmes de culture et d'élevage durables ».

Ce modèle, grâce à la simulation de scénarios climatiques et économiques, pourrait permettre à terme, de réfléchir avec les producteurs à la conception de systèmes de production flexibles, capables de s'adapter aux aléas climatiques et/ou économiques, et à des règles de gestion de ces systèmes complexes. Cette modélisation sera donc réalisée dans une perspective d'aide à la réflexion des acteurs concernés (producteurs, conseillers coton etc.).

I.3) Problématique et hypothèses de recherche

Le bassin cotonnier de l'Ouest du Burkina-Faso se trouve actuellement dans un contexte de forte pression sur les ressources agrosylvopastorales, et de réduction des réserves foncières, couplée à une augmentation des populations humaine et animale. Ces mutations profondes remettent en cause les relations entre activités d'agriculture et d'élevage, ainsi que les équilibres alimentaire, fourrager, minéral et économique des systèmes de production.
Par ailleurs, l'évolution récente du prix du coton (à la baisse) et de celui des intrants (à la hausse) implique pour les producteurs une réduction de la marge brute pour le coton. Ces derniers sont donc enclins à modifier leurs assolements, et notamment l'équilibre entre sole cotonnière et sole céréalière. La diminution probable de surface de la sole cotonnière risque d'entraîner une réduction de l'utilisation des engrais minéraux à l'échelle de l'exploitation (moindre accès au crédit de campagne qui est proportionnel à la surface en coton). De ce fait, la valorisation de toutes les formes de fumure organique va prendre de plus en plus d'importance aux yeux des agriculteurs. Or, cette valorisation nécessite une forte mobilisation en travail et une bonne coordination entre systèmes de culture et d'élevage, dans un contexte où au contraire agriculteurs et éleveurs sont plutôt en conflits (Blanchard, 2005).

Il apparaît donc nécessaire d'une part de travailler sur la coordination entre les types de producteurs aux objectifs différents pour limiter les conflits, et d'autre part de mettre en place des systèmes de production innovants et durables qui puissent garantir le bon fonctionnement des activités de chaque groupe. Tout en répondant à ces objectifs, les programmes de recherche et d'appui doivent aussi garantir la préservation des capacités productives du milieu : préserver la fertilité des sols et la qualité des eaux, conserver la biodiversité, garantir la production de bois et d'autres ressources issues des ligneux, etc. C'était l'objectif de nombreux projets antérieurs, fondés sur l'intensification conjointe des systèmes de culture et d'élevage. Or ce modèle technique n'a pas connu d'application globale, et les thèmes techniques retenus par les producteurs n'ont pas été suivis d'intensification significative (Landais et Lhostes, 1990). Une des hypothèses de ce travail de recherche est que la crise actuelle liée à l'accroissement de la population agricole contraint les producteurs à réfléchir sur une transformation de leurs modes de gestion et de production car l'extensification n'est plus possible (raréfaction des réserves de terres).

Pour cela, il est nécessaire d'assurer un conseil technique pour les producteurs, pour leur permettre d'intensifier leur système de production en valorisant mieux les ressources et en développant des synergies entre activités agricoles et pastorales à l'échelle de l'exploitation. D'où la nécessité de créer un nouvel outil d'aide à la réflexion utilisable par des conseillers techniques, pour qu'ils accompagnent les producteurs dans la planification de la transformation de leurs modes de gestion et de production. Dans cette optique, il faudra notamment mettre l'accent sur la gestion de la matière organique pour maintenir la fertilité des sols, dans la mesure où les limites d'une fumure strictement minérale ont été montrées et où il est peu probable que son prix diminue. Des améliorations techniques sont nécessaires pour optimiser les relations agriculture élevage : Berger et al. (1987) estime par exemple que

2 t MS de fumier /ha et an sont nécessaires pour maintenir le niveau de matière organique et donc de fertilité du sol.

Ce contexte pourrait se traduire par l'émergence d'une classe d'agro-éleveurs cultivateurs de coton et de céréales, une des fonctions de l'élevage étant ici de constituer un capital facilement mobilisable. Le rééquilibrage entre sole cotonnière et céréalière et le renforcement de l'élevage dans les exploitations constituent un changement stratégique important qui soulève des questions sur l'évolution des pratiques techniques et gestionnaires, sur les performances technico-économiques des systèmes ainsi que sur leurs bilans alimentaire, minéral, fourrager et économique.

Ainsi, dans ce contexte de pression sur les ressources agrosylvopastorales et de concurrence entre agriculture et élevage à l'échelle des unités de production et des terroirs, l'ensemble du fonctionnement du système de production est remis en question dans cette zone. La problématique de la présente étude sera donc de répondre à ces questions :

- Q1 : **Quelles sont les règles de décision régissant le fonctionnement technico-économique des systèmes de production « coton céréales élevage », et leurs adaptations en fonction des principales orientations stratégiques des producteurs ?** Comment les formaliser ?
- Q2 : **Comment traduire ces règles pour créer un outil de calcul simple qui permette de mener une réflexion stratégique à l'échelle de l'exploitation agricole ?**

Pour ce faire, nous étudierons les stratégies mises en œuvre par les producteurs et les liens qui existent entre gestion des assolements, gestion de la fertilité, pratiques de production de fumure organique, et pratiques d'élevage, dans le but de créer un outil de réflexion orienté aide à la planification, pour contribuer à la construction de systèmes innovants et durables.

Hypothèses de recherche

- Hypothèses méthodologiques :

H1 : Il est possible, grâce à des enquêtes en exploitations, de mettre en évidence différents corps de règles de décision régissant le fonctionnement des systèmes de production et reflétant des stratégies de production variées.
H2 : Malgré la complexité des systèmes étudiés et le fait qu'ils fonctionnent à une dimension qui dépasse l'échelle de l'exploitation (organisation complexe de la famille et du travail, systèmes ouverts (vaine pâture) avec part importante des ressources fourragères hors exploitation…), il est possible de proposer une modélisation simple de leur fonctionnement technico-économique.
H3 : Des outils simples de modélisation peuvent permettre de tester différents scénarios d'évolution des systèmes de production (évolution des choix d'assolement, évolution de la place de l'élevage, évolution du contexte économique…).

- Hypothèse en termes de connaissances :

H4 : Les dynamiques en cours dans les systèmes de production modifient différents équilibres internes des exploitations : face à la baisse du prix du coton, la sole cotonnière tend à se réduire au profit de la sole céréalière ; face aux difficultés d'affouragement en cours de saison sèche, les producteurs tendent à constituer plus de stocks fourragers (résidus de culture) et développent les cultures fourragères ; face à la hausse du prix des engrais minéraux, les producteurs valorisent de plus en plus la fumure organique produite par les troupeaux et la biomasse végétale disponible.

I.4) Objectifs du stage

Les objectifs du stage sont les suivants :

- décrire les pratiques de gestion des systèmes « coton céréales élevage », analyser les règles de décision régissant leur fonctionnement, et identifier les grandes orientations stratégiques des producteurs ;
- modéliser le fonctionnement technico-économique des exploitations au moyen d'un simulateur simple, qui sera utilisé comme outil de réflexion stratégique dans une perspective d'aide à la planification ;
- tester l'utilisation possible du modèle en analysant l'impact de différents scénarios d'évolution des exploitations sur leurs performances technico-économiques.

Les résultats attendus sont :

- une analyse des règles de décision prises par les producteurs en fonction des différentes stratégies liées aux différents systèmes de production selon le modèle d'action ;
- un simulateur simple sous Excel modélisant le fonctionnement technico-économique des exploitations (systèmes de culture et d'élevage, production de fumure organique, bilan économique) résultant des différentes stratégies de décisions identifiées (mais non modélisées en tant que telles) ;
- la simulation de quelques scénarios grâce au modèle réalisé sous Excel.

Ces résultats pourront servir, dans le cadre du projet CORUS, de première étape pour la construction du modèle final (biophysique et décisionnel) et pour la proposition de stratégies de changements et d'innovations techniques à co-construire avec les producteurs.

II. Méthode mise en œuvre

II.1) Méthode générale

Pour étudier les pratiques de gestion des systèmes de production, nous nous sommes basés sur des enquêtes d'exploitations auprès d'un échantillon de producteurs du village de Koumbia. Ces entretiens semi directifs ont permis d'appréhender le fonctionnement technique et économique des systèmes de production, ainsi que la prise de décision des exploitants.

Le traitement des données obtenues au cours des enquêtes a permis non seulement une analyse des règles de décision, mais aussi de réfléchir à l'élaboration d'un modèle conceptuel (réflexion sur les simplifications, le niveau de précision, le pas de temps du simulateur) et de renseigner les paramètres et variables biophysiques nécessaires. Ce modèle a ensuite été implémenté sous tableur Excel.

Enfin, des restitutions collectives et des enquêtes complémentaires ont été réalisées dans deux villages, de manière à valider le modèle construit précédemment (discussion du réalisme des sorties, des intérêts et limites du modèle, de sa commodité d'utilisation). Une fois validé sur le terrain, nous avons illustré l'utilisation possible du modèle en simulant quelques scénarios d'évolution des systèmes de production sur un cas réel et en analysant leurs impacts sur les performances technico-économiques.

II.2) Grille d'analyse des décisions

II.2.1) Référentiel théorique : le modèle pour l'action

Pour analyser la prise de décision des exploitants agricoles, nous nous sommes basés sur le **modèle de l'agriculteur pour l'action de Sébillotte et Soler (1990)**, cité par (Aubry et Michel-Dounias, 2006). Ce cadre de représentations des décisions comporte :
(1) un ou plusieurs objectifs généraux qui définissent le terme vers lequel convergent les décisions de l'agriculteur ;
(2) un programme prévisionnel et des états objectifs intermédiaires qui définissent des points de passage obligés et des moments où l'agriculteur pourra établir des bilans pour mesurer où il en est de la réalisation des objectifs généraux (indicateurs qui serviront aux décisions) ;
(3) un corps de règles de décision, qui en vertu d'un champ d'événements perçus comme possibles par l'agriculteur, définit pour chaque étape du programme, la nature des décisions à prendre pour parvenir au déroulement souhaité des opérations, et la nature des opérations de rechange à mettre en œuvre si, à certains moments, ce déroulement souhaité n'est pas réalisable (Sébillotte et Soler, 1990 ; Duru et al., 1988 ; Papy, 1994 ; cités par Aubry et Michel-Dounias, 2006).
Ainsi, les décisions techniques à caractère récurrent et cyclique (i.e. à l'échelle annuelle ou infra annuelle, pour un cadre stratégique que l'on considère fixé) se déclinent à deux niveaux : d'une part une **planification des actions**, « conception anticipée de plans d'actions » et d'autre part un **pilotage de ces actions planifiées**, « prise de décisions en temps réel, dans le cadre du plan d'action prédéfini, mais pouvant donner lieu à des adaptations in situ » (Besse et Bouquin (1991), cités par Aubry et Michel-Dounias, 2006).

II.2.2) Les six composantes du fonctionnement des exploitations dont on étudie les règles de décision

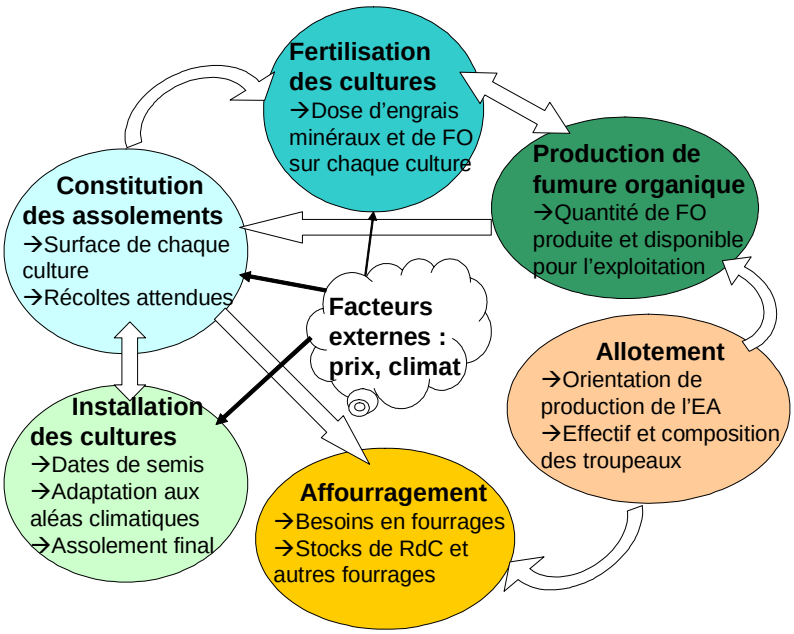


Figure 4 : Schématisation des interrelations entre les différentes composantes étudiées du fonctionnement des exploitations (chaque flèche signifie « influe sur »)

Six composantes essentielles à la compréhension du fonctionnement des exploitations ont été identifiées ; elles intègrent à différents degrés l'agriculture et l'élevage (Le Gal et al., 2008).

Nous avons analysé les règles de décision régissant le fonctionnement de ces six modules interdépendants (Figure 4).

- *La constitution des assolements*

Sous l'influence directe du prix de vente des cultures et de celui des intrants, le choix des cultures et des superficies correspondantes traduit en grande partie la stratégie du producteur : priorité aux cultures de rente / priorité aux céréales pour l'alimentation de la famille / présence ou non de cultures fourragères pour l'alimentation des troupeaux… Ainsi, les règles de constitution de l'assolement éclairent déjà sur l'orientation stratégique du système.

- *La gestion de l'installation des cultures*

L'installation des cultures, via les dates de semis (et notamment les dates buttoirs à partir desquelles on commence ou on arrête de semer), conditionne fortement la mise en place de l'assolement : les différences de longueur de cycle des différentes cultures permettent certaines pratiques d'ajustement in situ face aux aléas climatiques et modifient en conséquence la constitution de l'assolement.

- *La gestion de la fertilisation*

Les règles d'épandage des engrais minéraux et organiques constituent un des facteurs prépondérants des rendements obtenus, indicateurs de performance technique du système. Les pratiques de fertilisation sont variables d'une culture à l'autre et dépendent aussi de la disponibilité en fumure organique de l'exploitation.

- *L'allotement des animaux*

L'allotement définit des lots d'animaux conduits de manière identique en termes d'affourragement, de localisation, et d'orientation de production (énergie, lait, viande, fumure organique). La structuration plus ou moins complexe de ces lots a des répercussions sur le système de culture (via la disponibilité en fumure organique, la place des cultures fourragères…), mais aussi sur les résultats économiques de l'exploitation (présence d'un atelier laitier / d'embouche…).

- *L'alimentation des animaux, par lot*

Dépassant l'échelle de l'exploitation (fourrages des parcours collectifs, vaine pâture des parcelles cultivées hors exploitation), l'alimentation des animaux est responsable de la plupart des conflits entre agriculteurs et éleveurs à l'échelle du terroir villageois.
Mais, celle-ci intervient également au niveau de l'exploitation car elle est sous l'influence directe des règles d'allotement (besoins fourragers de chaque lot) et des règles de constitutions de l'assolement. Le choix des cultures détermine en effet la disponibilité ultérieure en fourrages pour l'exploitation (résidus de culture à pâturer, stocks de résidus de culture récoltés, présence de cultures fourragères).

- *La production de matière organique*

Dans un contexte de forte augmentation du prix des intrants, la production de matière organique d'origine végétale et/ou animale permet l'application d'une fumure produite *in situ* sur les parcelles cultivées, et est donc un facteur primordial à étudier : non seulement la production/utilisation de fumure influe sur le rendement via les pratiques de gestion de la fertilité, mais elle est aussi un des principaux facteurs d'intégration entre agriculture et élevage. Enfin, elle peut aussi avoir des impacts sur la constitution de l'assolement, en autorisant ou non le choix de cultures exigeantes en fertilisation selon sa disponibilité.

Les systèmes étudiés sont sous l'influence d'autres règles encore : règles d'organisation du travail, de gestion de l'enherbement, ou de gestion des récoltes de grains et résidus de culture par exemple (ordre de récolte, critère de déclenchement, quantités prélevées, modes de conservation des résidus, dates buttoirs…). Toutefois, compte tenu de la durée du stage, nous avons été contraints de faire des choix et de privilégier les composantes les plus pertinentes. C'est pourquoi nous avons éliminé toutes les règles dont on ne pouvait pas réaliser le suivi dans notre calendrier de travail.

Enfin, l'analyse des règles de décision au sein des six composantes du fonctionnement des exploitations nous a permis de **réfléchir aux choix à réaliser pour construire le simulateur**. Elle nous a en effet permis d'identifier les principaux processus à modéliser, les modules à inclure dans le simulateur et les principales variables composant ces derniers. Cette analyse constituait aussi une première réflexion sur le niveau de détail du simulateur et les simplifications éventuelles à réaliser.

II.3) Déroulement des enquêtes à Koumbia

II.3.1) Choix d'un village d'étude

Dans le cadre de mon stage, nous avons réutilisé les partenariats mis en place avec TERIA, mais en restreignant **le terrain d'étude** à **un seul village** de manière à optimiser le temps passé sur le terrain. Nous avons donc opté pour **Koumbia**, plus facile d'accès grâce à la route goudronnée très fréquentée entre Ouagadougou (capitale du pays) et Bobo-Dioulasso (deuxième ville du pays).
Koumbia se trouve dans la province du Tuy, sur la route nationale 1, à 34 km au sud-ouest de Houndé (chef-lieu de la province) et à 67 km à l'est de Bobo-Dioulasso. Il se situe à 290 m d'altitude, 12°42'207 de latitude Nord et 4°24'010 de longitude Ouest (Blanchard, 2005).

Tableau 1 : Principales caractéristiques géographiques du village de Koumbia, tiré de Vall et al. (2006)

	Koumbia
Superficie du territoire (ha)	9 000
Population (hbt)	5 800
Ethnie autochtone	Bwaba
Mossis allochtones (% UP)	54
Peulhs allochtones (% UP)	8
Densité population (hbt/km²)	55
Densité de bétail (UBT/km²)	45
Emprise agricole (%)	35

II.3.2) Choix d'un échantillon de producteurs

A partir de la typologie de Blanchard (2005), nous avons décidé d'enquêter chaque groupe de producteurs, à savoir les agriculteurs (type A), les agro-éleveurs (type AE) et les éleveurs (E). Nous excluons toutefois les petits agriculteurs (A1), sans animaux d'élevage, et les petits éleveurs (E3), sans surface cultivée, pour nous concentrer uniquement sur les producteurs combinant activités agricoles et pastorales. L'Annexe 1 précise les caractéristiques technico-économiques de chaque type d'unité de production (UP).

Nous avons choisi un **échantillon restreint de six producteurs**, en raison de nos passages répétés exigeants en temps (méthodologie similaire à celle utilisée par Aubry et al., 1998). En choisissant un petit nombre d'exploitations, nous pourrons en effet mieux approfondir les enquêtes et analyser en détails le fonctionnement et les décisions de ces exploitations. Ainsi, l'échantillon, même si de petite taille, a pour but de couvrir de façon satisfaisante la diversité des types d'UP de Koumbia (types A, AE, et E), et non d'être statistiquement représentatif.
Le choix des producteurs a été réalisé en concertation avec le CCV de Koumbia : après une première prise de contact au cours de laquelle les objectifs du stage et la méthode de travail ont été exposés aux membres du CCV, ceux-ci ont délibéré et choisi six producteurs. Le choix a donc été fait d'une part sur la base de critères choisis par nous-mêmes (6 exploitations contrastées : 2A, 2AE, 2E), et d'autre part en fonction de l'intérêt que porte le producteur à notre étude. Il est en effet primordial que l'agriculteur enquêté soit motivé pour participer aux entretiens et suivis sur toute la durée de l'étude, pour que la collaboration soit fructueuse.

II.3.3) Enquêtes de planification avant le début de la campagne

Ces enquêtes ont deux objectifs : (1) analyser la structure et le fonctionnement de l'exploitation à partir d'une description aussi exhaustive que possible des pratiques mises en œuvre au cours de la campagne 2007, (2) connaître précisément les décisions de planification prises par le producteur pour la campagne 2008.
Pour cela, nous avons choisi des entretiens semi directifs, avec à la fois des questions quantitatives pour obtenir des données sur la structure et les performances de l'exploitation, et des questions ouvertes pour laisser parler le producteur et extraire du dialogue un corps de règles de décision. Les enquêtes, d'une durée de deux à trois heures, avaient lieu avec un interprète qui traduisait le dioula et le moré en français.
Les enquêtes se divisaient en cinq parties (Annexe 2) : (1) historique de l'exploitation, (2) présentation générale de l'exploitation actuelle et de ses ressources, (3) analyse du système de culture, (4) analyse du système d'élevage, et (5) bilan : prévisions pour la campagne 2008.

II.3.4) Enquêtes de suivi de campagne

Après les enquêtes de planification avant campagne, nous avons réalisé plusieurs cycles d'enquêtes et de suivi des activités de production (de début juin à fin juillet, à raison d'un suivi toutes les deux semaines) pour analyser les règles de pilotage et d'ajustements en cours de campagne et observer les modifications par rapport à la planification initiale. En effet, les enquêtes de planification n'ont pas suffi pour accéder à toutes les règles de décision : dans un contexte qu'on ne maîtrise pas au départ, il est difficile de poser toutes les questions pertinentes dès le premier passage chez les producteurs, et d'envisager avec lui tous les scénarios possibles et facteurs influant sur le fonctionnement et le pilotage de son exploitation. Si un expert du terrain aurait peut-être pu analyser les règles en une seule enquête, plusieurs passages nous ont été nécessaires pour étudier le pilotage en cours de campagne.

Entre les enquêtes de suivi, les producteurs étaient chargés de remplir quotidiennement des fiches de suivi des travaux agricoles et de conduite des troupeaux (Annexe 3.1) : elles permettaient de suivre l'évolution de l'installation des cultures (préparation du sol, semis), et des pratiques d'élevage (allotement, affourragement, devenir des déjections). Au moment de l'enquête, les ajustements réalisés par rapport à la planification initiale pouvaient être révélés, et leurs raisons expliquées (guides d'entretien pour les suivis, Annexe 3.2).

Remarque : Nous souhaitions aussi suivre les pratiques de fertilisation, mais en raison du retard des pluies et de l'installation tardive des cultures, les producteurs n'ont pas fertilisé avant la fin des suivis : cette rubrique n'a donc pas pu être traitée et les décisions d'ajustement de la fertilisation n'ont pas pu être analysées, faute de suivi au-delà de la durée du stage.

II.4) Traitement des données, élaboration du modèle conceptuel, et implémentation du simulateur Excel

II.4.1) Traitement des données d'enquêtes

Suite aux enquêtes de planification et de suivi, nous avons, pour chaque exploitation, analysé les données pour tenter de mettre en forme les règles de la façon suivante : « *Si* condition i… *Alors* décision i ». Puis, à partir de cette liste de règles de décision, nous avons identifié les invariants entre systèmes de production d'une part et les spécificités de systèmes types d'autre part, première étape dans la définition de la structure du modèle conceptuel.

II.4.2) Elaboration du modèle conceptuel

Pour commencer, nous nous sommes basés sur les attentes des producteurs et techniciens exprimées lors du comité du pilotage du projet CORUS (avril 2008). Ces discussions nous ont permis d'identifier les questions que se posent les producteurs et auxquelles doit répondre le modèle, ainsi que les variables de sorties attendues. Ensuite, la description des règles de décision a été le support de réflexion pour l'élaboration du modèle conceptuel et le choix des hypothèses de construction :

- choix des processus à modéliser (en fonction des données structurelles des exploitations enquêtées et des références disponibles pour la zone d'étude),
- choix du niveau de détails de représentation des processus modélisés,
- choix du pas de temps.

A partir du modèle conceptuel général, nous avons défini, pour chaque module : les variables d'entrées saisies par l'utilisateur du modèle, les paramètres fixes qui peuvent être changés par l'utilisateur mais qui sont renseignés par défaut, les variables intermédiaires calculées par le modèle (à partir des variables d'entrée et des paramètres) et les variables de sortie. Enfin, nous avons formalisé tous les calculs et équations du modèle dans un document Word, en listant les variables et les paramètres nécessaires aux calculs des sorties, et nous avons cherché des références portant sur la zone d'étude pour renseigner les paramètres utilisés.

II.4.3) Implémentation du simulateur Excel

Après cet effort de formalisation, nous avons écrit les équations précédemment établies dans le tableur Excel, en séparant chaque module du modèle sur des feuilles de calcul différentes :

- une feuille « ENTREES » : l'utilisateur y rentre les caractéristiques de l'exploitation qu'il souhaite étudier ;
- une feuille « PARAMETRES » : elle contient tous les paramètres utilisés dans les calculs et déjà renseignés par défaut. L'utilisateur n'a pas besoin de les modifier mais il y a accès s'il le souhaite ;
- une feuille de calcul par module contenant toutes les équations nécessaires ;
- une feuille « SORTIES » : elle affiche les variables de sortie pertinentes pour l'utilisateur et résultant des calculs de chacun des modules.

II.5) Validation du modèle construit

II.5.1) Cadre théorique

D'après Kleijnen et Sargent (2000), cités par (Andrieu, 2004), la validation a pour but de déterminer si le modèle est, dans son cadre expérimental, une représentation acceptable du système réel, cohérente avec l'utilisation souhaitée. Elle permet de déterminer le domaine de validité du modèle et de définir la portée des conclusions tirées lorsque ce dernier est utilisé pour tester des hypothèses. Si elle n'est pas toujours cruciale dans le cas de modèle de recherche, elle est en revanche de première importance dans le cas de modèle d'aide à la décision (aide au pilotage).
Dans le cas de notre étude, le simulateur élaboré doit pouvoir servir d'outil d'analyse et de réflexion stratégique à l'échelle de l'exploitation, en analysant un certain nombre de leurs critères de performances. Il n'est pas destiné à aider les producteurs à prendre leurs décisions au jour le jour, et il peut ne donner qu'un ordre de grandeur des variables modélisées. L'étape de validation du modèle, impérative, devra donc garantir que les résultats du simulateur produisent des tendances et des ordres de grandeur acceptables mais pas nécessairement rigoureusement exacts.

La validation comporte trois volets (Rykiel, 1996, cité par Andrieu, 2004) :
- *la validation opérationnelle*, qui consiste à déterminer si les sorties du modèle reproduisent correctement le système (sans évaluer la base scientifique ou la structure interne) ;
- *la validation conceptuelle*, qui signifie 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 ;
- *la validation des données*, qui certifie de leur qualité et de leur bonne interprétation.

Pour ces trois volets, les modalités d'évaluation possibles sont les suivantes (Coquillard et Hill, 1997, cités par Andrieu, 2004) :
- *la validation par confrontation ou à dire d'experts*, basée sur l'expérience des experts du système et consistant à demander à ceux-ci si le comportement du modèle leur paraît cohérent. Elle peut s'envisager pour la validation opérationnelle ou celle des données ;
- *la validation de répétitivité*, qui consiste à comparer le modèle avec d'autres modèles ou avec la réalité. La comparaison se fait essentiellement sur les résultats issus du modèle et non sur sa structure et son fonctionnement. Elle permet donc la validation opérationnelle ;
- *la validité fonctionnelle*, qui vise à exploiter le modèle comme instrument de mesure et d'expérimentation afin de s'assurer de son bon fonctionnement. Elle comprend des analyses de sensibilité et des tests de conditions extrêmes. Elle traite aussi de la validité structurelle qui permet de vérifier que non seulement les résultats fournis sont satisfaisants, mais aussi que la structure interne de ce modèle correspond à la structure de fonctionnement de la réalité. Cette modalité se réfère à la validation conceptuelle du modèle.

II.5.2) Méthode de validation du modèle élaboré

En ce qui concerne notre modèle, **nous choisissons une validation à dire d'experts**, i.e. une **validation par confrontation** selon la précédente classification. En effet, compte tenu de la finalité du modèle, il nous importe surtout de tester sa validité opérationnelle et la validité des données, de manière à pouvoir l'utiliser de façon pratique comme outil d'aide à la décision.

La validation de répétitivité semble difficilement envisageable pour la présente étude. En effet, nous avons modélisé d'une part un système comprenant une composante décisionnelle donc difficilement reproductible en conditions expérimentales. D'autre part le système modélisé est complexe avec un nombre important de paramètres et de variables, et pour de nombreuses variables, la comparaison des sorties des simulations à des données expérimentales serait impossible, au moins dans le cadre d'un stage de six mois.
De plus, dans le cadre d'un projet de recherche action en partenariat tel que CORUS, il apparaît nécessaire d'associer tous les acteurs du projet autour de la construction du modèle : ainsi, les scientifiques en élaborent le cadre conceptuel, compte tenu des attentes des acteurs de terrain, puis l'implémentent sous Excel, et les acteurs de terrain (conseillers techniques et producteurs) le testent et le valident.

Pour ce faire, nous avons suivi une démarche en deux temps :

- à Koumbia (village dans lequel les données ont été collectées, et à partir desquelles le modèle a été construit), on effectue une restitution de groupe (avec producteurs et techniciens) pour réaliser une démonstration simplifiée de l'utilisation de l'outil : présentation des principales sorties et types de questions auxquelles il permet de répondre. Au terme de cette restitution, on interroge le public sur le caractère réaliste des sorties, la complexité de l'outil, les intérêts et limites perçues. On choisit ensuite trois producteurs volontaires de chaque type (A, AE, E) pour tester l'outil sur le cas réel de leur exploitation, et on les interroge individuellement sur les mêmes aspects (réalisme des sorties etc.).

- à Kourouma (village au contexte pédoclimatique différent et n'ayant pas contribué à la construction du modèle), on teste la généricité du modèle en l'appliquant à un site d'étude différent de celui à la base de sa construction. Comme à Koumbia, on réalise une restitution de groupe où l'on discute avec les experts de terrain de la validité des résultats du modèle ainsi que de ses intérêts/limites. Puis, on choisit de même trois volontaires (A, AE, E), et on confronte les simulations individuelles de l'outil avec les données technico-économiques réelles qu'ils ont livrées au préalable, pour tester la validité des résultats sur des cas concrets.

L'ensemble des commentaires des experts a été enregistré lors des restitutions de groupe et des simulations individuelles. Cet échange avec les experts sur les atouts et limites du modèle, a donné lieu à des suggestions de corrections ou améliorations. Ainsi, même si cette validation est intervenue dans la phase finale de construction du modèle, elle a contribué à sa conception.

II.6) Simulation de quelques scénarios

Avec les enquêtes réalisées, nous avons identifié quelques orientations stratégiques pouvant donner lieu à des scénarios possibles d'évolution (réduction de la sole cotonnière, renforcement des activités d'élevage etc.). Dans cette dernière phase, nous avons pris l'exemple d'une exploitation d'agriculteur, et nous l'avons soumise à plusieurs scénarios successifs d'évolution. Les résultats obtenus grâce au simulateur nous donnent des exemples d'utilisation possible du modèle, et illustre les réflexions d'orientation stratégique qu'il permet de mener avec agriculteurs et conseillers.

III. Résultats

Nous présentons ici les principaux résultats : (1) l'identification des règles de décision régissant le fonctionnement des systèmes « coton céréales élevage », (2) la construction à partir de cette analyse des décisions de l'outil de calcul et de réflexion stratégique (simulateur Excel), et (3) un exemple d'utilisation possible de cet outil : le test de l'impact de quelques scénarios d'évolution sur les performances technico-économiques des exploitations.
Le tableau 2 rappelle les principales caractéristiques techniques des exploitations étudiées à Koumbia : nous avons deux exploitations d'agriculteurs (A) cultivant moins de 15 ha et possédant des noyaux d'élevage restreints, deux exploitations de grands agro-éleveurs (AE2) cultivant de grandes surfaces (>40 ha) mais dont l'un a arrêté le coton en 2008 pour s'orienter vers la production céréalière et l'embouche bovine, et deux éleveurs (E) possédant de grands troupeaux bovins mais des surfaces très réduites (<7 ha).

Tableau 2 : Principales caractéristiques techniques des six exploitations enquêtées à Koumbia (données 2008)

Type identifié par Blanchard (2005)	A2	A4	AE2b	AE2o	E1	E2
	Petit agriculteur équipé	**Grand agriculteur**	**Grand agro-éleveur**	**Grand agro-éleveur**	**Grand éleveur Peul**	**Eleveur Peul moyen**
Bouches à nourrir	10	16	42	28	15	11
Actifs agricoles	8	9	32	17	8	7
Charrue	2	2	3	?	1	1
BdT	4	8	6	18	4	2
STC dont :	8,25	12,5	42	44	6,5	4,5
S. coton	2	6	24,25	0	0	0
S. maïs	2	3,75	15,75	28	2	3,5
S. sorgho	1,5	1,9	0,5	13,5	1	0,5
S. arachide	0,5	0,25	0	0	0,5	0
S. mucuna	0	0,25	0	0	1	0
S. autres	2,25	0,35	1,5	2,5	2	0,5
BE	0	1	18	150	100	60
Ovins	0	0	10	70	7	60
Caprins	3	3	0	40	20	2
Bovins/STC	0,48	0,72	0,57	3,82	16,0	13,78
Surface/actif	1,03	1,39	1,31	2,59	0,81	0,64

Légende : BdT = bœufs de trait ; STC = surface totale cultivée ; S. autres = surface en niébé, riz, mil, sésame ; BE = bovin d'élevage.

III.1) Analyse des règles de décision régissant les systèmes de production à base de coton céréales élevage : une forte opposition agriculteurs / éleveurs

Nous présentons ici la synthèse des règles de décision identifiées à partir de la grille d'analyse du fonctionnement des exploitations. Toutes les règles de la forme « *Si* condition i, *Alors* action i » sont données dans l'Annexe 4.
Notons que certaines règles ont été analysées mais demanderaient à être approfondies par un suivi ciblé sur ces thèmes (application de la fumure organique, complémentation des animaux en SSC et travail du sol notamment).

III.1.1) Décisions de constitution de l'assolement : la priorité au maïs

- *Choix des cultures*

Nous distinguons deux grandes orientations stratégiques : **une stratégie orientée « coton », et une stratégie orientée « élevage »**, en sachant que tous les types d'exploitations ont par ailleurs l'objectif d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. Pour la première stratégie, les producteurs (A2, A4, AE2b) investissent dans la culture de rente et c'est la vente du coton graine à la SOFITEX qui rapporte la majorité des revenus de l'exploitation (récolte vendue à 100% et à prix garanti). Ainsi, pour les grands cotonculteurs (STC >20ha), le coton est la culture la plus importante, suivi du maïs (base alimentaire de la famille, mais dont les excédents peuvent être vendus), du sorgho et autres cultures secondaires. Celles-ci sont le plus souvent le niébé et l'arachide, pouvant être consommés par la famille, et le sésame, pouvant être vendu comme culture de rente, conformément à la stratégie de vente de cultures.
Pour les petits cotonculteurs (STC <15ha), même si le coton revêt une grande importance, l'autosuffisance alimentaire et la couverture des besoins de la famille sont prioritaires. Le maïs est donc la culture la plus importante.

Pour la seconde stratégie, qui concerne pour la plupart des éleveurs, les producteurs investissent dans l'élevage et c'est la vente des animaux qui rapporte l'essentiel des revenus. Les cultures choisies ont donc rarement pour but de produire des récoltes à vendre, mais surtout d'assurer l'autosuffisance alimentaire de la famille, et éventuellement de contribuer à l'affourragement des troupeaux en saison sèche. Ces producteurs (E1, E2, AE2o) choisissent donc en premier lieu le maïs et le sorgho, puis des cultures secondaires et fourragères qu'ils pourront récolter et stocker. Si le producteur possède une grande surface (cas de AE2o avec 44 ha), il a la possibilité de vendre les excédents de maïs, ce qui est moins le cas des éleveurs Peuls (E1, E2), exploitant le plus souvent de petites surfaces (ici 6,5 et 4,5 ha dont 4 et 3 ha en maïs et sorgho) à peine suffisantes pour l'autosuffisance de la famille. Les cultures secondaires sont également destinées à l'autoconsommation (et non à la vente), d'où un choix qui se porte fréquemment sur le mil pour la famille, et le niébé dont on peut utiliser, en plus des graines consommables par la famille, les fanes pour l'affourragement des animaux. Le coton en revanche n'est que rarement cultivé dans ces systèmes orientés élevage.

Ainsi, l'ensemble des producteurs enquêtés préfère le maïs pour son rendement potentiel plus élevé, même si celui-ci est plus exigeant en termes de sol et de fertilisation, et qu'il résiste moins bien à la sécheresse que le sorgho, plus rustique. Alors que ce dernier excède difficilement les 1,5 t/ha (même pour une année favorable), le maïs peut en effet facilement dépasser les 2 t/ha en moyenne, ce qui est intéressant pour constituer les réserves céréalières annuelles de la famille et disposer d'un surplus pouvant être vendu. Et même si le sorgho produit beaucoup plus de pailles, les producteurs préfèrent toujours le maïs qui fournit un fourrage de meilleure qualité pour les animaux.

- *Surfaces allouées aux cultures*

Le maïs est présent dans tous les assolements (Figure 5), entre 25 et près de 80%. Pourtant, lorsqu'on interroge les producteurs sur la surface minimum cultivée chaque année en maïs et qu'on la ramène au nombre de bouches à nourrir, nous remarquons que le ratio est d'une remarquable stabilité. On en déduit une **règle de décision commune à tous les producteurs, quelle que soit leur stratégie : quelle que soit l'année, il y a mise en culture au minimum de 0,2 à 0,3 ha de maïs par bouche à nourrir**.

Si les greniers sont vides, les producteurs utilisent la fourchette haute pour pouvoir récolter suffisamment de maïs pour les besoins annuels de la famille et constituer une réserve de sécurité pour l'année suivante.

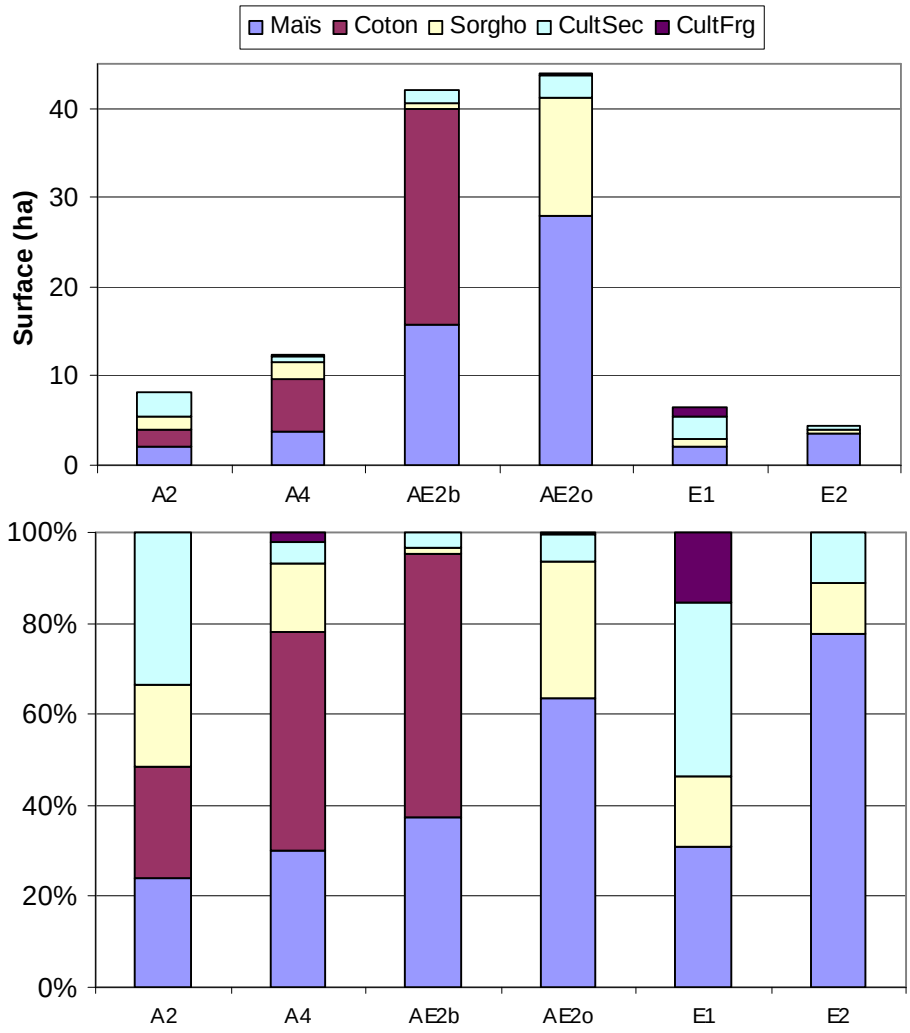


Figure 5 : Assolements 2008 des exploitations enquêtées : nombre d'hectares et part de chaque culture dans la surface totale cultivée

Les **producteurs orientés « élevage »** ne cultivant qu'exceptionnellement du coton, ont des **assolements plutôt stables d'une année à l'autre** car peu soumis à des facteurs économiques (fluctuation de la marge brute coton espérée). Ainsi, les éleveurs Peuls E1 et E2 décident d'abord de la surface en maïs en fonction de leurs besoins annuels en céréales, puis ils répartissent le reste de la surface disponible entre sorgho, cultures secondaires et parfois cultures fourragères. La surface en sorgho est fixée en fonction des besoins alimentaires de la famille et des types de sol disponibles ; les surfaces fourragères sont implantées si l'éleveur a pour objectif de produire son propre fourrage pour la saison sèche chaude (notons toutefois que les cultures fourragères ont encore un caractère expérimental et sont liées à l'existence du projet TERIA) ; les surfaces de cultures secondaires font fonction de cultures d'ajustement et peuvent donc varier d'une année à l'autre.

Le tableau 3 compare les assolements 2007 et 2008 de deux producteurs orientés « élevage » et illustre le fait que E2 a des assolements stables d'une année à l'autre. Au contraire, AE2o, qui a radicalement changé de stratégie entre 2007 et 2008, a bouleversé ses choix de cultures :

suppression du coton, et augmentation du maïs et du sorgho (ce qui pourrait d'ailleurs poser problème en termes d'organisation spatiotemporelle des successions de culture : gestion de la fertilité et des adventices). A partir de 2008, nous pouvons faire l'hypothèse que son assolement restera relativement stable d'une année à l'autre, en n'étant plus soumis aux fluctuations du prix du coton.

Tableau 3 : Comparaison des assolements 2007 et 2008 pour deux producteurs orientés « élevage »

Surface (ha)	E2		AE2o		
	2007	2008	2007	2008	
Coton	0	0	10	0	←Changement de stratégie
Maïs	3,5	3,5	20	28	
Sorgho	0,75	0,5	10	13,5	
Niébé	0	0	2	0,5	
Arachide	0	0	2	0	
Mil	0,25	0,5	2	2	
Mucuna	0	0	0	0	
Total cultivé	4,5	4,5	46	44	

Chez les **producteurs orientés « coton »** (A2, A4, AE2b), les **règles de décision sont soumises au prix de vente du coton et au prix d'achat des engrais**. Elles sont de la forme : *si* le prix du coton est > 145 Fcfa/kg, *et* le prix de l'engrais est < 13 200 Fcfa/sac, *alors* la surface en coton est maximale, sinon elle est comprise entre surface minimale et surface maximale avec des seuils variables d'un agriculteur à l'autre. D'après nos enquêtes, la surface minimale varie entre 2 et 16 ha, et la surface maximale entre 4 et 26 ha respectivement chez A2 et AE2b (pour une surface totale en propriété de 8,25 et 34 ha, soit entre 24 et 48% de coton dans l'assolement pour A2, et 47 et 76% pour AE2b).
Les producteurs raisonnent donc en termes de marges : connaissant leur potentiel de rendement (fonction du type de sol), ils peuvent avoir une idée du bilan à l'hectare « vente de la récolte – achats d'intrants » et décider de la surface optimale à cultiver en coton. Une fois fixée, le reste de la surface disponible est distribuée en sorgho et autres cultures secondaires.

Pour le grand cotonculteur (AE2b), la surface maximale en coton est simplement donnée par le calcul suivant : surface totale cultivable moins surface minimale en maïs. Chez les petits cotonculteurs (A2, A4) en revanche, on garde au moins un hectare en plus pour cultiver du sorgho ou autres cultures secondaires. On peut en déduire que les **petits cotonculteurs ont une stratégie de diversification des cultures** plus marquée que AE2b : non seulement ce dernier a un assolement composé à plus de 95% de coton et maïs (contre 48 et 78% pour A2 et A4), mais il ne cultive qu'une seule culture secondaire, le niébé, contre quatre pour A2 et A4 (riz, niébé, arachide et sésame pour A2 ou mucuna pour A4).

Remarque : on peut penser que les éleveurs ont en fait le même type de règle pour décider de la surface en coton, mais avec un seuil économique beaucoup plus restrictif compte tenu de leur orientation stratégique. AE2o a par exemple un seuil à 165 Fcfa/kg coton et 13 200 Fcfa/ sac engrais (prix de 2008) qui l'a poussé à arrêter le coton cette année.

- *Allocation des différentes cultures aux parcelles*

Nous avons identifié trois critères participant à l'allocation des cultures aux différentes parcelles.

(1) Critère foncier : ce critère semble marginal puisqu'il n'a été rencontré qu'une seule fois lors des enquêtes. Le producteur AE2o répartit ses cultures ainsi : si la parcelle lui appartient, il y sème ses cultures prioritaires et importantes dans l'assolement (coton, maïs, sorgho). Sinon, si la parcelle est seulement empruntée, il met plutôt en place des cultures secondaires (mil, niébé, arachide). Il veut en effet s'assurer que les parcelles pour les cultures principales sont en bon état et ont été bien entretenues auparavant (enherbement, fumure organique). Nous pouvons faire l'hypothèse qu'il a aussi pour stratégie de ne pas trop investir en fertilisation sur des parcelles qu'il aura probablement à rétrocéder.

(2) Critère pédologique : ce critère n'est utilisé que par les agriculteurs A2 et A4 cultivant du riz : ils le cultivent systématiquement dans les bas-fonds argileux et humides, dont les conditions sont favorables à sa croissance. C'est la seule règle, basée sur un critère « type de sol », que nous ayons pu identifier.

(3) Critère de fertilité des sols : ce dernier critère est de loin le plus important puisqu'il détermine les décisions de tous les producteurs rencontrés. **Si la parcelle est une zone fertile (ou qui a été bien fumée), alors on y sème en priorité les cultures principales (coton, maïs) ; sinon, si la zone est peu fertile, on y sème le sorgho et autres cultures secondaires** (niébé, arachide, sésame, mil). Tous les producteurs cherchent en effet à maximiser le rendement des cultures les plus importantes de leur système de production, et le critère de fertilité des sols prime naturellement sur les autres : critères 1 et 2, mais aussi éloignement de la parcelle, état d'enherbement, et même précédents culturaux.
Les producteurs semblent d'ailleurs ne pas avoir de règles concernant les successions de cultures (ou du moins nous n'avons pas pu les identifier avec eux). Nous pouvons seulement dire que sur les zones fertiles, la rotation peut être soit coton/céréale chez les cotonculteurs, soit céréale/céréale chez les éleveurs, et que sur les zones peu fertiles, la rotation peut être soit céréale/céréale, soit céréale/légumineuse (sans toutefois préciser le nombre d'années de chaque culture).

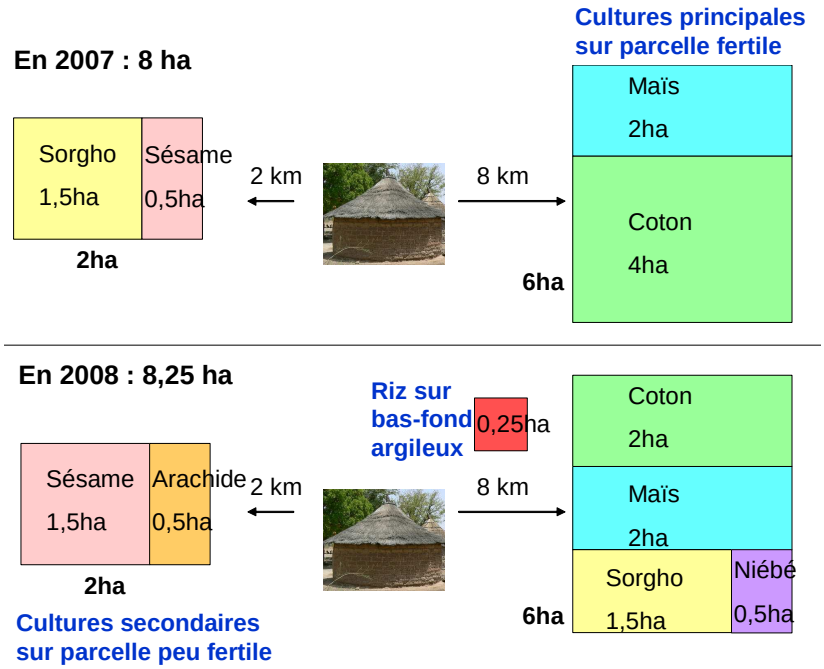


Figure 6 : Schématisation de la succession d'assolement 2007-2008 chez A2, agriculteur orienté « coton »

La figure 6 illustre, par l'exemple d'un agriculteur orienté « coton », les principaux critères de décision d'allocation des cultures aux différentes parcelles en comparant les assolements 2007 et 2008. En 2008, A2 a réduit de moitié sa surface en coton (critère économique) et mis en culture une parcelle supplémentaire dans un bas-fond argileux réservé au riz. Cette stratégie d'accroissement de surface par la mise en culture de zones habituellement peu cultivées (terre marginale peu fertile et bas-fond inondable) est fréquente dans la région pour accroître la production agricole. Enfin, les 2 ha libérés par le coton ont été semés en cultures secondaires (apparition du niébé et de l'arachide dans l'assolement et renforcement du sésame).

III.1.2) Décisions d'installation des cultures : une étape soumise aux conditions climatiques et faisant l'objet d'ajustements de surface

- *Calendrier des semis*

Pour tous les producteurs, le **critère de déclenchement des semis est lié à la pluviométrie** plus qu'à la date calendaire : si le producteur a constaté trois « bonnes » pluies à partir de fin mai, alors il commence à semer sa première culture. Il n'a pas été possible de déterminer avec eux la hauteur d'eau seuil à partir de laquelle les semis commencent.

Le **critère d'arrêt des semis est** par contre **une date buttoir**, assez uniforme pour tous les producteurs : **début août** (mais les producteurs souhaitent terminer les semis le plus tôt possible). Si cette date est la règle générale, les producteurs distinguent en revanche des **dates buttoirs spécifiques de certaines cultures** (nous approximons ici à une date unique par culture sans distinguer les différentes variétés disponibles) :

- *le coton :* tous les cotonculteurs s'accordent à dire qu'on ne peut pas semer de coton après la première semaine de juillet. Les semis tardifs de juillet 2007, que la SOFITEX a elle-même incités en raison d'une quasi-absence de pluies en juin, ont en effet abouti à de véritables échecs.

- *le maïs :* on distingue le cas des cotonculteurs et le cas des éleveurs. Les premiers, A2, A4 et AE2b sèment le maïs jusqu'à la première décade de juillet, tandis que E1, E2 et AE2o peuvent aller jusqu'à fin juillet, et même au-delà pour E2 qui préfère semer tardivement plutôt que de réduire sa surface en maïs.

- *le sorgho :* les producteurs ont quasiment tous cité la première quinzaine de juillet comme date buttoir, en précisant que le sorgho pouvait être implanté aussi bien précocement en sec et semis direct que tardivement, après le maïs.

- *les cultures secondaires à cycle court :* mil, niébé, arachide et sésame peuvent être implantés plus tard que les trois précédentes cultures. La date la plus tardive est citée pour le sésame (début août), culture semée la dernière sur les calendriers de semis.

La figure 7 donne trois exemples de calendriers de semis relevés en 2008 à Koumbia. Ils illustrent quelques règles de décision importantes :

- Chez les **cotonculteurs** (A2, A4, AE2b), **les semis débutent toujours avec le maïs et le coton**. Si la surface totale cultivée est restreinte, ou si les réserves de grains sont épuisées, le producteur cherche à assurer les rendements en maïs et une production précoce pour nourrir sa famille : il commence donc par semer précocement une petite surface de maïs, éventuellement en semis direct pour « économiser » le temps de préparation du sol et semer dès les premières pluies. C'est le cas de A2 qui a démarré le semis de maïs sans travail du sol

dès le 28 mai, mais qui a ensuite été obligé de resemer en raison d'une mauvaise levée due à l'arrêt des pluies les jours suivants. Comme le montre l'exemple de A2 et AE2b, **les semis du coton et du maïs ont lieu en parallèle**. Les producteurs ne les font pas durer au-delà de début juillet pour éviter les semis tardifs, très pénalisants pour les rendements du coton, comme l'a montré l'année 2007.

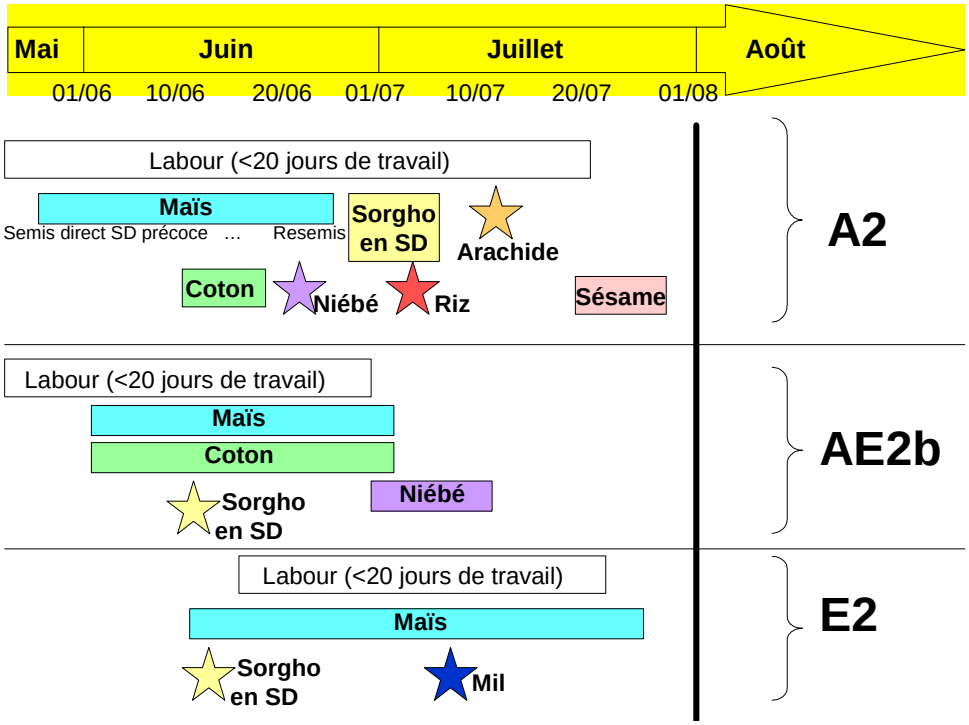


Figure 7 : Exemples de calendrier de semis 2008 pour trois types de producteurs (A2, AE2b, E2)

- Chez les **éleveurs** (E1, E2, AE2o), on observe une **stratégie d'étalement du semis du maïs** sur toute la fenêtre de travail favorable, de manière à avoir à la fois des semis précoces et tardifs. E2 étale le semis de maïs de la deuxième décade de juin à la dernière décade de juillet, de manière à ne pas avoir toute la sole de maïs en même temps au même stade physiologique. Cette stratégie permet (i) une **minimisation des risques en cas d'accident climatique**, principal aléa auquel les producteurs doivent faire face, et pour les petites exploitations, (ii) de réduire les problèmes familiaux de soudure alimentaire (en ayant la possibilité de récolter plus tôt).

- Pour **tous les producteurs**, **le sorgho représente une excellente culture d'ajustement** : étant donné qu'un travail du sol ne lui est pas indispensable, il peut être implanté lorsque les bœufs de trait ne sont pas en état de travailler, ou lorsque les conditions d'humidité ne suffisent pas pour labourer. En conséquence, le fait de pouvoir semer le sorgho en sec et en semis direct autorise les producteurs à l'implanter soit avant les premières pluies, avant toutes les autres cultures (cas de AE2o), soit lorsqu'une poche de sécheresse intervient et que les autres semis (en conditions humides) sont interrompus (exemple de AE2b qui intercale le semis du sorgho au milieu des semis de maïs et coton), soit au début des semis en attendant que les bœufs de trait soient en état de travailler (cas de E2 qui démarre les labours juste après le semis du sorgho). De plus, étant donnée sa rusticité et sa résistance à la sécheresse (CIRAD-GRET, 2002), le sorgho peut aussi être implanté après le maïs, comme l'a fait A2. Ainsi, le sorgho représente un excellent outil d'ajustement pour tous les producteurs, leur permettant de piloter au fur et à mesure l'installation des cultures.

- **Les cultures secondaires sont implantées tardivement dans la fenêtre de semis et font également fonction de cultures d'ajustement**. Ainsi, si les semis de coton et maïs sont terminés (ou que la date buttoir de leur semis est dépassée) et qu'il reste encore des surfaces disponibles, AE2b sème du niébé. A2 lui, a profité de conditions humides autour du 20 juin pour le semer avant le sorgho (semé début juillet). Une fois que les dates buttoirs de semis des cultures principales sont dépassées pour toutes les variétés disponibles, A2 sème les cultures de cycle court : l'arachide, puis en dernier lieu le sésame. Ainsi, lorsque l'installation des cultures a été tardive et qu'il reste des surfaces disponibles en juillet, les cultures secondaires à cycle court permettent en partie de « rattraper » le retard des pluies.

- *Réajustements de surface en cours de campagne*

De manière générale, on a observé une tendance selon laquelle, plus la surface cultivable (ou plus encore la surface cultivable par bouche à nourrir) est importante, plus les réajustements de surface sont nombreux par rapport à la planification initiale. On pourrait décrire une sorte de gradient, depuis l'éleveur moyen (E2 : 0,4ha/bouche à nourrir) qui sème toujours la même surface de maïs chaque année quelles que soient les conditions d'implantation, jusqu'au grand agro-éleveur (AE2o : 1,6ha/bouche à nourrir) qui n'a qu'une planification grossière et pilote au jour le jour l'installation des cultures en fonction de multiples critères (état des bœufs de trait, pluviométrie, liquidités permettant l'achat d'intrants et donc le semis de maïs plus exigeant en fertilisants que le sorgho etc.).
Ceci peut s'expliquer par le fait que les producteurs limités en surface (<1ha/bouche à nourrir) ne peuvent pas se permettre de diminuer les surfaces minimales en céréales (et surtout en maïs) s'ils veulent garantir l'autosuffisance céréalière de la famille. Leur système est relativement rigide. Au contraire, lorsque les producteurs disposent d'importantes surfaces supplémentaires, ils peuvent ajuster au fur et à mesure les surfaces des cultures de rente, céréalières et secondaires en fonction du calendrier et des conditions climatiques.

Pour l'année 2008, caractérisée par une arrivée tardive des pluies, on peut étudier deux exemples (Tableau 4).

- A2, petit cotonculteur, a été confronté à un retard des semis de maïs qui l'a décidé à réaliser des ajustements de surface. Ses décisions ont été prises de la façon suivante (Figure 7): puisque la date buttoir de semis du maïs est dépassée (30/06), il arrête le semis, ce qui libère 2 ha. Il sème ensuite le riz et le sorgho jusqu'à leur date buttoir (10/07) : il ne peut pas augmenter la surface en riz, cantonné aux bas-fonds, donc il accroît la surface en sorgho de 0,5 ha. Puis, il sème 0,5 ha d'arachide (non prévue initialement) jusqu'au 15/07, avant de terminer par le semis de sésame sur le dernier 1,5 ha disponible. Les excédents pourront être vendus, conformément à son orientation « cultures de vente ».
- E1 a eu des problèmes d'ordre familial et n'a pas pu commencer les semis aux dates habituelles. Une fois les dates seuils du maïs et sorgho dépassées, il a donc restreint ses surfaces en céréales principales aux surfaces minimales, et accru les surfaces dédiées aux cultures secondaires. En raison de son orientation « élevage », E1 choisit aussi d'augmenter la surface en mucuna de manière à disposer de fourrages pour son troupeau bovin.

Nous pouvons donc en dégager la règle suivante : si une date seuil est dépassée pour une culture i, alors on arrête le semis même si la surface implantée est inférieure à celle prévue, et on démarre le semis de la culture i+1 qui a un cycle plus court. En conséquence, par rapport à la planification d'assolement, la surface en cultures de cycle long peut diminuer (sans pouvoir passer en dessous de la surface minimale en maïs), et la surface en cultures de cycle court (arachide, niébé, sésame) augmenter, même si cela est peu souhaitable pour l'exploitation.

Tableau 4 : Exemples d'ajustements de surfaces en 2008 pour deux producteurs (A2 et E1)

	A2		E1	
	Prévu	Réalisé	Prévu	Réalisé
Coton	2	2	0	0
Maïs	4	2	3	2
Sorgho	1	1,5	2,75	1
Riz	0,25	0,25	0	0
Niébé	0,5	0,5	0,125	1
Arachide	0	0,5	0,125	0,5
Mil	0	0	0,25	1
Sésame	0,5	1,5	0	0
Mucuna	0	0	0,25	1
Total cultivé	8,25	8,25	6,5	6,5

- *Resemis*

La règle semble similaire pour tous les producteurs :
- Si la levée a été inférieure à 25%, ils relabourent la zone et resèment totalement.
- Si la levée a été comprise entre 25 et 80%, ils resèment uniquement les poquets manquants pour que la levée soit complète dans la zone.
- Si la levée a été supérieure à 80%, elle est considérée comme correcte et il n'y a pas de resemis.

III.1.3) Décisions de fertilisation : vers une plus grande valorisation de la fumure organique

On distingue une fois encore le cas des **cotonculteurs qui privilégient la fertilisation minérale sur coton** et le cas des **éleveurs qui privilégient la fumure organique sur maïs**. Les premiers ont en effet un ratio nombre de bovins sur surface totale cultivée inférieur à 1 (Tableau 2) qui rend l'impact de la fumure organique insuffisant et rend nécessaire le recours aux engrais minéraux, tandis que chez les éleveurs Peuls E1 E2, ce ratio dépasse 13.

- Les **cotonculteurs** (A2, A4, AE2b) déclarent appliquer systématiquement les **recommandations de la SOFITEX** : dans les trois cas, nous obtenons la réponse standard de trois sacs de NPK (150 kg) par hectare après le démariage et un sac d'urée (50 kg) par hectare après le désherbage. Nous n'avons cependant pas pu vérifier cette pratique au cours du suivi car la fertilisation minérale n'a pas commencé avant la fin juillet. Sur maïs, les cotonculteurs appliquent une fertilisation minérale un peu moindre que sur coton (deux sacs de NPK au lieu de trois, et un sac d'urée par hectare), ou alors restreinte par le prix d'achat des engrais (tant que le prix du sac de NPK n'excède pas 14 000 Fcfa).

Les cotonculteurs ayant investi dans un noyau d'élevage valorisent aussi de plus en plus leur production de fumure organique (FO). Ils l'appliquent en priorité aux zones les moins fertiles du parcellaire, et en particulier sur les zones à semer en maïs, culture qui valorise bien la FO (CIRAD-GRET, 2002), et sur le coton. En revanche, AE2b, qui confie ses animaux à l'extérieur, ne produit et n'utilise que très peu de FO, privilégiant une fertilisation minérale systématique.
Enfin, le sorgho, culture d'ajustement peu exigeante en intrants, n'est pas fertilisé du tout.

- Les **éleveurs** (E1, E2, AE2o) **ont une stratégie de fertilisation basée sur la fumure organique qu'ils produisent** en grande quantité avec leurs grands troupeaux. De manière à

éviter le transport de grandes quantités de FO, ils pratiquent le parcage direct des animaux sur les parcelles cultivées (en saison sèche et tant que les semis ne sont pas terminés, de novembre à fin juin), en privilégiant les zones les moins fertiles du parcellaire, et surtout les zones à semer en maïs. Ils laissent les parcs en place environ trois semaines avant de les changer de place, ce qui peut être estimé comme l'apport de 1,4 kg MS/UBT (Blanchard, 2005) * 21 jours = 29,4 kg MS de déjections par UBT et par parc. Les éleveurs n'utilisent en revanche que peu ou pas d'engrais minéraux, avec au maximum un sac d'urée par hectare de maïs. Enfin, les éleveurs fertilisent aussi un peu le sorgho (urée, ou parcage mobile), puisque dans leurs systèmes de production, il est la deuxième culture plus importante après le maïs.

III.1.4) Décisions d'allotement du troupeau, facteur d'intégration agriculture élevage

Les décisions d'allotements peuvent être décrites selon trois cas de figure (Figure 8) :

(1) **les cotonculteurs intégrant un petit noyau d'élevage** (A2, A4) élèvent au maximum trois lots. Le plus important pour le fonctionnement de l'exploitation est celui des bœufs de trait (BdT) qui fournissent de l'énergie pour les travaux agricoles. Les cotonculteurs en possèdent au moins une paire (sauf les A1). Ensuite, si l'agriculteur a suffisamment de liquidités, il investit dans un petit noyau, soit de bovins d'élevage (BE< 15), soit de petits ruminants (PR<5 ; Blanchard, 2005). Ces bovins, ovins et caprins peuvent servir à la production d'une petite quantité FO ensuite transportée sur les parcelles cultivées.

(2) **les grands producteurs tournés vers les cultures de rente** (AE2b) ont des lots d'effectifs plus importants (une vingtaine de bovins et une vingtaine de PR), mais dans le cas de AE2b, les animaux sont confiés toute l'année à l'extérieur. Il n'y a qu'un lot présent sur l'exploitation : les BdT, récupérés pendant la saison des pluies pour participer aux travaux agricoles. Le bétail n'a donc ici qu'une valeur de force de travail et de capital (pas de vente d'animaux ou de lait), et ce producteur ne valorise pour ainsi dire aucune FO. Sa stratégie et ses revenus sont uniquement basés sur les cultures, et ce choix est notamment permis par une surface cultivable importante, un bon niveau d'équipement, des liquidités suffisantes pour acheter les intrants, et la présence d'une main d'œuvre nombreuse sur l'exploitation.

(3) **les éleveurs de grands troupeaux** (E1, E2, AE2o) ont des lots d'animaux plus nombreux et de taille nettement plus importante. Ils possèdent un petit nombre de BdT (nombre variable en fonction de la surface cultivée), un gros noyau de BE (>40) dont un nombre important de femelles, un grand lot de PR (>20) et très souvent un lot supplémentaire de bovins d'embouche en saison sèche. Ces derniers sont la plupart du temps achetés maigres et engraissés pendant trois mois au moyen d'aliments concentrés achetés. Tous les animaux (sauf les BdT qui travaillent aux champs) sont élevés pour la vente de manière à apporter des revenus à l'exploitation. De plus, les vaches laitières (VL) adultes peuvent produire du lait pour l'autoconsommation et éventuellement la vente si la production est excédentaire (cas de certains Peuls). Cela dit, elles ne font pas l'objet d'un lot séparé et elles sont conduites avec les mâles adultes et les jeunes. Les vaches à des stades physiologiques différents (génisses, vaches en lactation, vaches taries) ne font pas non plus l'objet de lots différents.

On peut remarquer que dans toutes les situations où le producteur ne possède pas de tracteur, **le nombre de BdT (lot facilement identifiable chez tous les producteurs) s'est montré relativement stable : entre 0,4 et 0,6 BdT par hectare cultivé**. Il chute considérablement lorsque l'exploitation possède un tracteur : 0,14 BdT/ha dans notre exemple (AE2b).

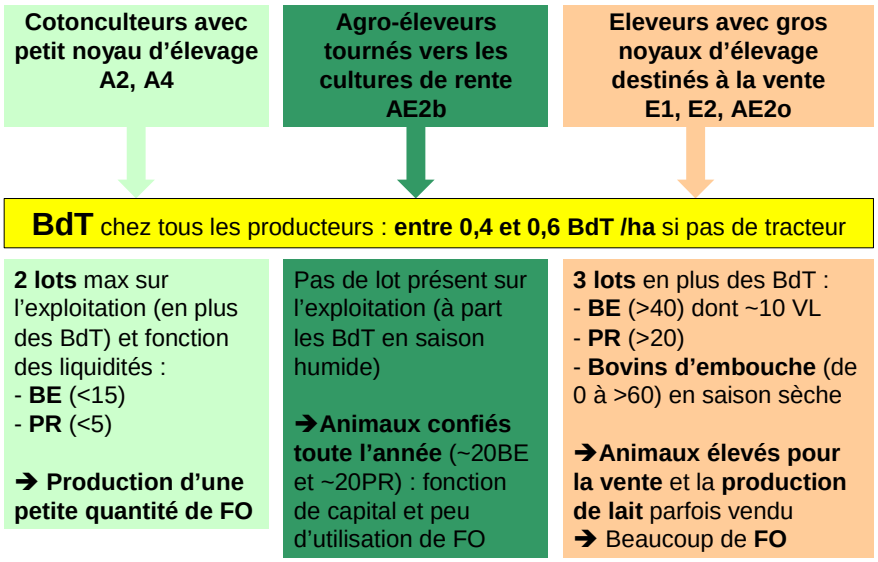


Figure 8 : Schéma des orientations stratégiques pour la décision "allotement"

III.1.5) Décisions d'affourragement du troupeau : trois périodes distinctes

Les éleveurs Peuls distinguent cinq périodes, au cours desquelles les fourrages disponibles varient en quantité et en qualité, conformément aux observations de Diallo (2006) :
- *GATAAJE ou KORCHI = période de début des pluies (mai juin),* durant laquelle les animaux broutent les premières pousses d'herbes.
- *NDUUNGU = saison pluvieuse (juillet à septembre).* Les animaux pâturent les herbes de brousse sur les parcours collectifs et les zones non cultivées du territoire villageois.
- *DJAAMDE = période de fin des pluies, et de maturité des herbes de brousse (octobre à mi-novembre).* De même que précédemment. C'est aussi à cette période qu'on peut faucher des herbes pour les stocker pour la SSC.
- *DABUUMDE = saison sèche froide (mi-novembre à début février).* Les animaux pâturent les résidus de culture des parcelles, c'est la vaine pâture.
- *CEEDU = saison sèche chaude (mi-février à avril).* Les PR se nourrissent des restes disponibles sur les pâtures (même si déficit fourrager possible). Les bovins pâturent aussi les restes de pâturages, mangent les stocks de résidus de culture (RdC) récoltés et peuvent recevoir des concentrés pour les plus faibles. Si les stocks fourragers sont vraiment insuffisants, il y a départ en transhumance vers le sud, à la recherche de pâturages non épuisés.

De façon plus simple, on peut séparer l'année en **trois grandes périodes** valables pour tous les systèmes de production :

(1) **la saison pluvieuse** (mai à octobre) : tous les animaux de tous les lots se nourrissent des pâturages : parcours collectifs et zones non cultivées du territoire villageois, même si parfois difficiles d'accès pour les grands troupeaux.

(2) **la saison sèche froide** (SSF, novembre à février) : vaine pâture pour tous les lots.

(3) **la saison sèche chaude** (SSC, mars avril) : les PR sont laissés au pâturage comme le reste de l'année ; les bovins (BdT et BE) reçoivent une complémentation en plus du pâturage. Elle est composée des stocks de cultures fourragères conservées en sec (encore peu fréquent mais en développement) et des RdC récoltés (dans l'ordre de préférence des producteurs : pailles de maïs, fanes de légumineuses et pailles de sorgho) jusqu'à épuisement des stocks. Ensuite, si le prix du sac de tourteau de coton n'excède pas un certain seuil (de 5000 Fcfa/sac

pour E1 à 7500 Fcfa/sac pour AE2b), les bovins les plus faibles et surtout les BdT reçoivent du tourteau de coton (TdC) à raison de 2 kg par jour et par adulte (1 kg pour un veau), de manière à ce qu'ils soient en état de travailler au démarrage de la saison des pluies.

Cette règle de décision fonctionne tant que le rapport nombre d'UBT / surface cultivée n'est pas excessif (<1 pour les A mais pas pour les E) : les agriculteurs ont le plus souvent assez de stocks de RdC pour affourrager les bovins jusqu'aux pluies suivantes (en complémentant les animaux les plus faibles avec des concentrés à base de coton). A l'inverse, pour les éleveurs possédant de grands troupeaux et peu de surface, les stocks de RdC ne suffisent pas toujours à assurer une complémentation pour tous les bovins, même pour une période courte en SSC. On assiste alors, tout en essayant de valoriser au maximum les parcours (arbres fourragers), soit à un accroissement des stocks via la fauche d'herbes de brousse en fin de saison humide (peu fréquent), soit, si la période de soudure s'annonce trop longue, à un départ en transhumance pour gagner des territoires encore riches en pâturages. Cela dit, les éleveurs préfèrent éviter la transhumance qui fatigue beaucoup les animaux.

Cas particulier de l'alimentation des bovins d'embouche : ils sont engraissés pendant environ trois mois à partir de trois types d'aliments : fourrage grossier (paille), TdC et son de céréale.

La figure 9 illustre ces trois périodes avec le calendrier d'affourragement de deux producteurs (A2, E1) pour la campagne 2007-2008.

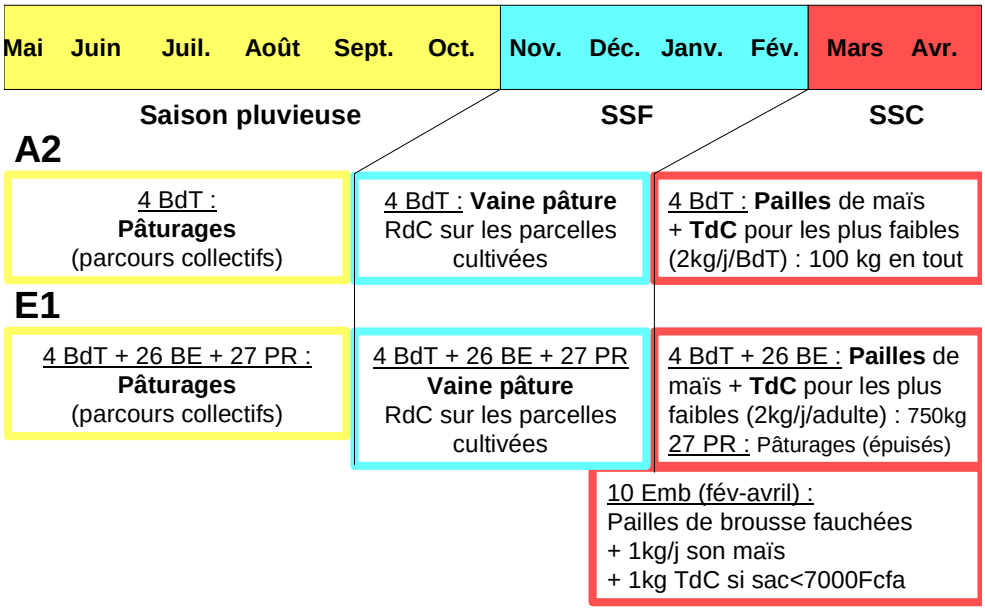


Figure 9 : Exemples de calendriers d'affourragement pour un agriculteur et un éleveur (2007-2008)

Remarque générale : pour tous les producteurs, il est plus facile de déclarer la dose totale annuelle de RdC stockés ou de compléments alimentaires achetés, que de préciser la dose journalière administrée par animal (sauf éventuellement pour le TdC). Les doses journalières qu'ils déclarent ne correspondent d'ailleurs pas aux totaux sur l'année. Il existe donc des règles d'adaptation plus fines (à pas de temps journalier ou à l'échelle des individus, et non pas des lots entiers) pour alimenter en priorité les animaux les plus faibles aux périodes les plus critiques. Pour les identifier, il aurait fallu réaliser un suivi précis animal par animal pendant la période de soudure mars avril, ce qui n'était matériellement pas possible dans le cadre de ce stage.

III.1.6) Décisions de production de fumure organique : deux modalités principales, le parcage en champs et le fumier de fosse

Fonction de l'allotement des troupeaux (nombre et conduite des animaux), la production de fumure organique peut être menée selon trois stratégies distinctes :

(1) **les grands cotonculteurs tournés vers les cultures de rente** (AE2b) : dans notre exemple, AE2b adopte une stratégie « cultures » et ses animaux n'ont qu'une fonction de capital. Ils ne sont pas utilisés pour produire de la FO valorisable sur les parcelles cultivées (utilisation majoritaire d'engrais minéraux). Au contraire les animaux sont **confiés à l'extérieur** et quel que soit le ratio nombre de bovins / surface cultivée, **les déjections produites ne sont pas valorisées sur leurs parcelles**. En cas de besoin, AE2b demande simplement quelques charrettes de déjections au berger, et les épand avant labour. D'autres enquêtes auprès de grands agro-éleveurs auraient vraisemblablement permis de montrer que certains ne confient pas leurs animaux et valorisent une plus grande quantité de FO.

(2) **les éleveurs de grands troupeaux** (E1, E2, AE2o) privilégient le **parcage direct des animaux dans les champs** de manière à éviter le transport de grandes quantités de FO (ratio élevé nombre de bovins / surface cultivée, >13 pour E1 et E2), surtout quand les parcelles sont éloignées de la concession (cas des éleveurs non Peuls). La FO produite est de la poudrette de parc (= déjections desséchées des bovins du fait d'une exposition au soleil et rendues pulvérulentes par le piétinement du bétail ; Dugué, 1999). En saison sèche et tant que les semis ne sont pas terminés (novembre à juin), les éleveurs placent dans les parcelles à fertiliser des parcs mobiles où dorment les animaux, et qui sont changés de place toutes les trois semaines environ. Ensuite en saison humide (juillet à octobre), ils dorment dans un parc d'hivernage fixe : leurs déjections s'accumulent jusqu'à ce qu'ils retournent dans les parcs mobiles. Celles-ci peuvent être stockées soit en l'état dans le parc, soit en tas, soit dans une fosse, puis elles sont ramassées en fin de saison sèche pour être épandues sous forme de poudrette de parc. Mais cette pratique entraîne beaucoup de pertes du fait de la dégradation de la FO au cours de la saison pluvieuse (Landais et Guérin, 1992).

(3) **les agriculteurs intégrant un petit noyau d'élevage** (A2, A4) : les animaux, moins nombreux que dans la précédente catégorie (ratio nombre de bovins / surface cultivée <1), ne sont pas parqués sur les parcelles cultivées. Ceci peut s'expliquer par le fait que les agriculteurs n'ont ni berger pour surveiller les animaux, ni champ de case proche de la concession. Le plus souvent, les animaux passent donc les nuits et produisent la FO à la concession sous la surveillance des producteurs : leurs déjections sont stockées soit dans une étable (sous un hangar), soit dans une fosse. A ces déjections peuvent s'ajouter la litière des animaux, constituée des refus de fourrages apportés aux animaux en SSC, et les ordures ménagères de la famille. La FO produite dans ces systèmes est du fumier. En saison des pluies après la fin des semis, les agriculteurs peuvent éventuellement parquer les BdT en bord de champ, et ramasser leurs déjections à la saison sèche suivante, mais cela suppose que l'agriculteur passe lui aussi les nuits à proximité du champ. Et comme précédemment, cette pratique va de pair avec d'importantes pertes de FO.

Ainsi, au-delà de la diversité des pratiques rencontrées, on retiendra deux principales modalités de production de FO : le parcage direct chez les éleveurs (production de poudrette de parc), et la production de fumier dans une fosse à partir des déjections, des ordures ménagères et des litières d'animaux chez les agriculteurs.

III.2) Construction du simulateur

L'analyse des décisions a permis de décrire les pratiques existant à Koumbia chez les producteurs des systèmes à base de coton, céréales et élevage. Cette phase d'analyse de la gestion des systèmes nous a permis d'identifier différentes stratégies mises en œuvre.
Nous proposons maintenant de présenter l'outil de calcul issu de cette analyse. Il est orienté aide à la planification, et permet aux producteurs de réfléchir aux conséquences technico-économiques de divers choix stratégiques.

III.2.1) Objectifs du simulateur : un outil de calcul simple permettant une réflexion stratégique au niveau des exploitations

Après avoir compris le fonctionnement global des systèmes de production et leurs principales orientations stratégiques, notre objectif est de construire **un outil de calcul simple, pouvant aider les producteurs à mener une réflexion sur l'évolution de leurs stratégies et de leurs pratiques**. Pour être utilisable, l'outil doit donc à la fois représenter de façon satisfaisante la diversité des exploitations de la zone d'étude, et avoir des sorties techniques et économiques pour permettre une évaluation primaire des conséquences de modifications des systèmes par rapport à une situation initiale. Ainsi notre outil doit aider à la décision dans le sens où il permet de réfléchir sur l'opportunité de l'une ou l'autre décision stratégique, dans le cadre d'une analyse des possibilités d'orientations stratégiques.

- *Types de questions auxquelles doit répondre le modèle*

Après discussion avec les producteurs et les membres du comité de pilotage du projet Corus, nous avons pu préciser leurs attentes en termes d'aide à la réflexion, et le type de questions techniques et économiques auxquelles le simulateur doit répondre :

- **décisions d'assolement** : quelles cultures et quelle répartition des surfaces entre coton, céréales et cultures fourragères pour nourrir la famille, le troupeau et assurer un revenu suffisant ?
- **décisions de gestion de la fertilisation** : quel niveau d'intrants utiliser sur les différentes cultures ? quelle stratégie de fertilisation et de production de fumure organique associée?
- **décisions de gestion de l'allotement et de l'affouragement** : quels besoins fourragers pour les différents lots d'animaux ? comment organiser la production agricole pour subvenir à ces besoins ?

Ces décisions, bien sûr, ne sont pas indépendantes, d'où la nécessité d'élaborer un simulateur capable de prendre en compte leurs interactions dans des simulations de scénario d'évolution.

Il a également été décidé que le fonctionnement des exploitations serait évalué en fonction de quatre critères pertinents dans le contexte actuel Burkinabé (Andrieu, 2008), deux relevant directement des objectifs des agriculteurs, et deux étant plutôt des objectifs de moyen terme :

- la capacité de l'exploitation à assurer la *sécurité alimentaire* de la famille : récoltes en céréales à mettre en relation avec le niveau de besoin familial (nombre de bouches à nourrir) ;
- les *revenus de la famille* : obtention d'un solde monétaire en mesure de faire face aux besoins socio-économiques de la famille et éventuellement de constituer un capital ;
- la capacité de l'exploitation à maintenir la *fertilité des sols* (à moyen terme) ;
- la capacité de l'exploitation à faire face aux *aléas climatiques* (à moyen terme).

Pour répondre à ces exigences, nous proposons de réaliser des **bilans de flux simples par confrontation offre/demande** :

- bilan céréalier : l'exploitation fournit-elle assez de céréales pour subvenir aux besoins alimentaires de la famille ?
- bilan fourrager : la production de fourrages de l'exploitation est-elle suffisante pour couvrir les besoins fourragers du troupeau (fonction des objectifs fixés de performances zootechniques) durant la période de soudure de fin de saison sèche[1] ?
- bilan minéral : la fertilisation appliquée sur les cultures permet-elle de couvrir les besoins en éléments minéraux NPK des plantes (fonction des objectifs de rendements de l'agriculteur) ? la production de fumure organique est-elle suffisante pour mettre en œuvre la stratégie de fertilisation de l'exploitant ?
- bilan économique : les produits de la vente des cultures et des produits animaux sont-ils suffisants pour couvrir les charges opérationnelles et dégager un revenu acceptable pour la famille ?

De plus, nous simulons différents scénarios climatiques pour tester ces bilans dans diverses conditions de façon à éprouver la capacité d'adaptation des exploitations aux variations climatiques interannuelles.

- *Choix du type de modèle à développer*

Il ne s'agit donc pas d'un modèle linéaire d'optimisation, qui maximiserait une fonction avec un objectif et des contraintes fixées. En effet, ce genre de modèle présente ses limites en matière de conseil aux exploitations (comment mettre en œuvre la solution optimale ?). Il ne s'agit pas non plus d'un modèle à base de règles de décision qui prévoirait un enchaînement d'actions en fonction de conditions et d'objectifs. Ce serait trop complexe et trop long à développer puis à utiliser avec des agriculteurs.
Le modèle que l'on se propose de construire doit d'ailleurs répondre à deux contraintes pratiques : (1) pouvoir être développé rapidement dans le cadre d'un stage de six mois ; et (2) être assez simple à utiliser compte tenu de ses futurs utilisateurs (conseillers techniques, agriculteurs…). L'objectif est en effet de pouvoir rapidement présenter des scénarios aux agriculteurs pour lancer la réflexion sur la co-construction de systèmes de production innovants.
Pour ces raisons, nous avons choisi de construire le modèle dans un **tableur (type Excel)**, comme cela avait déjà été fait avec succès dans d'autres contextes (Bara, 2007). Ce simulateur ne modélisera pas les règles en tant que telles mais il prendra en compte de manière implicite les sorties des règles (via la structure même du modèle).

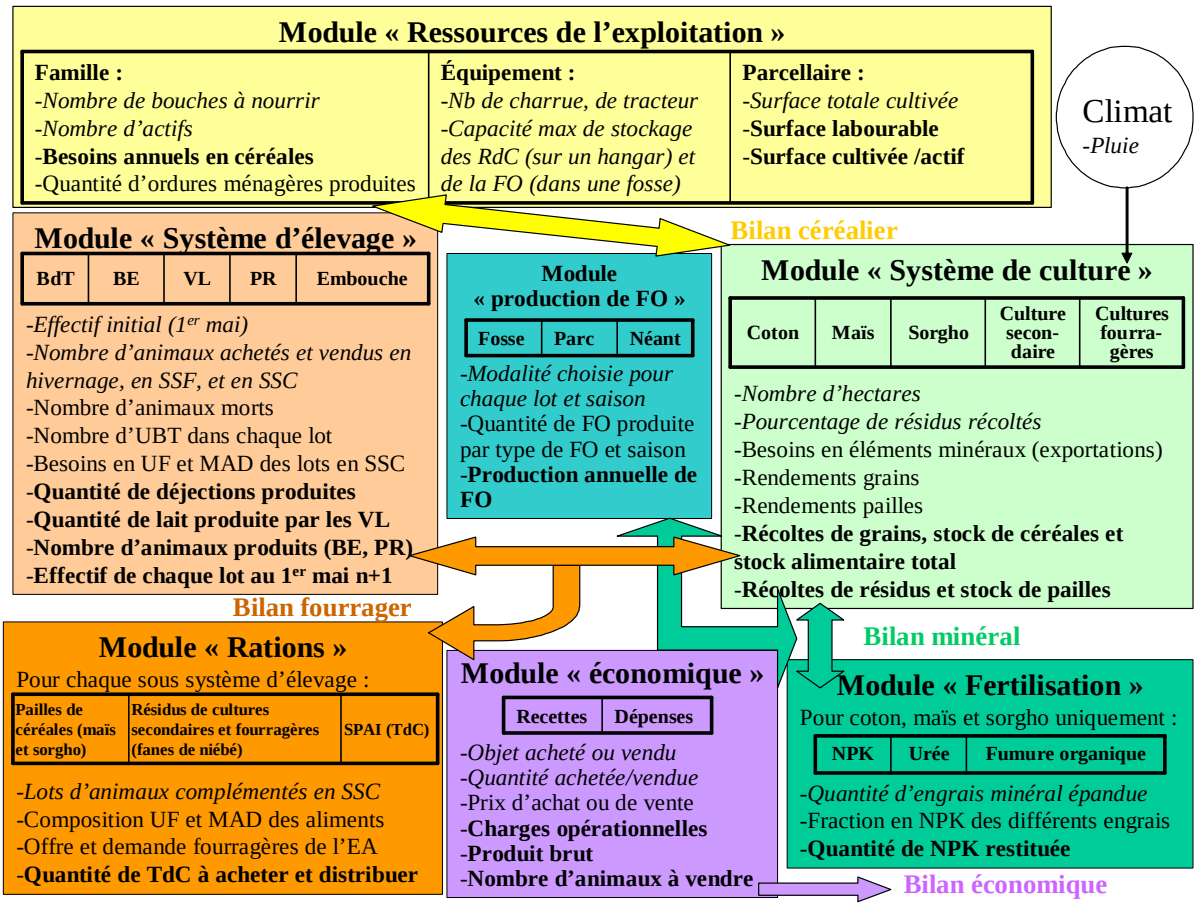
III.2.2) Elaboration du modèle conceptuel

- *Structure du modèle conceptuel : sept modules*

Le modèle est constitué de sept grands modules (Figure 10). Chacun d'entre eux peut comporter des variables d'entrée à renseigner par l'utilisateur, des paramètres fixes qui peuvent être changés par l'utilisateur mais qui sont renseignés par défaut par le modèle, des

[1] Il ne s'agit pas ici d'évaluer les besoins fourragers pour tous les animaux et toute l'année, mais d'estimer les besoins des bovins (BdT, BE, VL et bovins d'embouche) pour la saison sèche chaude, période durant laquelle les animaux sont en partie nourris par des résidus de culture stockés par le producteur et par des compléments type tourteaux de coton.

variables intermédiaires calculées par le modèle (calcul à partir des données d'entrée et/ou à partir de paramètres), et des variables de sorties. Les variables intermédiaires sont utilisées pour le calcul des variables de sortie du même module ou d'autres modules.
Nous donnons en III.2.3 un résumé de la structure et du fonctionnement de chacun des modules, et les équations, choix de paramètres et variables sont détaillés de façon exhaustive en Annexe 5.



Légende : en italique, variables d'entrée renseignées par l'utilisateur ; en normal, paramètres du modèle ou variables intermédiaires de calcul ; en gras, variables de sortie.

Figure 10 : Modèle conceptuel utilisé pour implémenter le simulateur Excel

- *Réflexion sur le pas de temps du modèle*

Notre simulateur tourne à l'**échelle annuelle**, mais en séparant **trois périodes** dans l'année. Elles ont été identifiées à partir des décisions de gestion d'affourragement des producteurs.

- **La saison des pluies** ou hivernage H (1er mai - 31 octobre, 184 jours), période de production de la biomasse végétale pendant laquelle les animaux sont laissés au pâturage et les BdT utilisés pour les travaux agricoles. Les besoins fourragers sont couverts par les fourrages hors exploitation (parcours collectifs), même si en réalité les BdT peuvent encore recevoir quelques compléments en tourteaux de coton.

- **La saison sèche froide** SSF (1er novembre - 28 février, 120 jours), pendant laquelle les animaux peuvent pâturer les résidus de récolte laissés sur les parcelles de l'exploitation et des autres exploitations et pendant laquelle les fourrages ne sont a priori pas limitants.

- **La saison sèche chaude** SSC (1er mars - 30 avril, 61 jours), pendant laquelle les animaux ne disposent pas toujours de fourrages en quantité suffisante, puisque les pâturages sont quasiment épuisés et que leurs rations sont constituées des stocks de résidus de culture et d'aliments concentrés achetés à l'extérieur. Dans la pratique, les petits ruminants se nourrissent uniquement des restes de fourrages disponibles (même si insuffisants), et les bovins ne reçoivent pas toujours de résidus de culture ou de compléments en quantité suffisante. L'alimentation à base de pâturages, même si déficitaire, reste la règle pour la plupart des exploitations.

Même s'il est utilisé dans un but prospectif, notre modèle ne représente donc qu'une seule année. Il n'intègre pas le temps comme variable de fonctionnement : il s'agit d'un modèle statique. Cela dit, on peut le faire devenir « artificiellement dynamique » en le faisant tourner plusieurs années de suite et en intégrant à chaque simulation les résultats de la précédente comme entrées.

- *Trois scénarios climatiques*

Le modèle est sous l'influence du climat, par l'intermédiaire des conditions de pluviométrie de l'année. On définit une variable qualitative [Clim] qui représente à la fois la quantité de pluie et sa répartition dans l'année, conditionnant l'installation, la croissance et la maturation des cultures. Nous nous sommes basés sur la classification climatique de Vall et al. (2008) (Tableau 5) pour ensuite choisir trois scénarios climatiques tranchés :

- [Clim] = Fav, année favorable du type 2004
- [Clim] = Moy, année moyenne du type 2006
- [Clim] = Dfv, année défavorable du type 2007.

Ces trois scénarios climatiques ont été validés par les producteurs de Koumbia et Kourouma (scénarios à dire d'experts) et peuvent permettre de tester la capacité d'adaptation d'une exploitation à des variations interannuelles.

Tableau 5 : Classification des saisons des pluies par les agriculteurs (Vall et al., 2008)

Types de saison des pluies		Caractéristiques	Année de référence
Bonne saison	A. Très bonne saison	• Installation normale • pluviométrie normale entre le 50ème et le 70ème jour de végétation du coton et maïs	2004
	Bh. Bonne saison affectée par un excès de pluies en milieu de cycle	• Installation normale • pluviométrie excessive entre le 50ème et le 70ème jour de végétation du coton et maïs	nd
	Bs. Bonne saison affectée par manque de pluies en milieu de cycle	• Installation normale • pluviométrie déficitaire entre le 50ème et le 70ème jour de végétation du coton et maïs	nd
Mauvaise saison	C. Saison médiocre	• Installation tardive • pluviométrie normale entre le 50ème et le 70ème jour de végétation du coton et maïs	2006
	D. Très mauvaise saison affectée par un excès de pluies en milieu de cycle	• Installation tardive • pluviométrie excessive entre le 50ème et le 70ème jour de végétation du coton et maïs	2007
	E. Très mauvaise saison affectée par un déficit de pluies en milieu de cycle	• Installation tardive • pluviométrie déficitaire entre le 50ème et le 70ème jours de végétation du coton et maïs	1973

NB : les saisons de type B pouvant être affectées négativement par des pluies de fin d'hivernage excessives et les saisons de type C pouvant être partiellement rattrapées par ces mêmes pluies.

Les scénarios climatiques influent sur les rendements grains et pailles des cultures (module « culture »), et sur les taux de mortalité des animaux (module « élevage »).

III.2.3) Structure du modèle et hypothèses de construction des modules

- *Module « ressources de l'exploitation »*

Ce module renseigne les caractéristiques concernant la famille de l'exploitant, l'équipement et les caractéristiques du parcellaire de l'exploitation (Tableau 6).

Tableau 6 : Variables d'entrée et de sorties du module "ressources"

	Sous module	Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES	Famille	Nombre de bouches à nourrir	Nbouch	
		Nombre d'actifs	Nact	
	Equipement	Nombre de charrues	Nchar	
		Nombre de tracteurs	Ntract	
		Capacité maximale de stockage de la fumure organique dans une fosse	StockmaxFOchar	*en charrettes petit plateau*
		Capacité maximale de stockage des résidus de culture	StockmaxRdCchar	*en charrettes petit plateau*
	Parcellaire	Surface cultivée	Scult	*en ha*
SORTIES	Famille	Besoins annuels en céréales pour la famille	BesCerAnEA	*en sac de 100 kg/an*
	Parcellaire	Surface labourable	Slab	*en ha*
		Surface cultivée par actif	Scultact	*en ha/actif*

Sous module « famille » : le nombre de personnes vivant sur la concession (nombre de bouches à nourrir) permet de calculer les besoins annuels en céréales pour nourrir la famille (à comparer aux rendements en grains de céréales pour en déduire le bilan céréalier), ainsi que la quantité d'ordures ménagères produites. Cette quantité rentre dans le calcul de la quantité de fumure organique que l'on peut produire. Le nombre d'actifs (associé au sous module équipement) permet de calculer une surface labourable.

Sous module « équipement » : il est constitué uniquement de variables d'entrée (nombre de charrue ; nombre de tracteur ; capacité maximale de stockage de la fumure organique dans une fosse [StockmaxFOchar]; capacité maximale de stockage des résidus de culture sous un hangar [StockmaxRdCchar]). Même si dans la réalité ces deux dernières variables ne sont pas des déterminants prépondérants[1], elles sont utiles dans une logique de modélisation car elles servent de « variables de contrôle ». Ces capacités maximales de stockage sont une façon indirecte de tenir compte de contraintes de transport, de main d'œuvre et d'équipement dans le stockage de la fumure organique et des résidus de culture. On limite ainsi les quantités que le producteur peut potentiellement récolter en demandant lui d'indiquer lui-même ses capacités maximales de stockage. Ce sous module permet de prévoir le type de fumure organique productible (fumier de fosse ou déjections de parc), la production potentielle maximale de fumure organique, et la surface labourable.

[1] Il est en effet possible de construire facilement un hangar de stockage des résidus de culture, et il est également possible de produire de la fumure organique sans posséder de fosse (terre de parc par exemple).

Sous module « parcellaire » : il renseigne la surface cultivée chaque année par l'exploitant, que l'on peut ensuite comparer à la surface labourable (calculée) pour estimer l'exploitation de la force de travail disponible (même s'il faut noter que le recours au semis direct existe dans la région de Koumbia). Il calcule également la surface cultivée par actif, autre indicateur du niveau d'exploitation de la force de travail disponible.
Nous rappelons que le modèle est conçu pour des systèmes de production en culture continue et fait l'impasse sur la jachère, la possibilité de défrichement ou d'extension par achat /location etc.

- *Module « système d'élevage »*

Compte tenu des règles d'allotement identifiées, nous décomposons le module en cinq sous modules au sein desquels on considère les animaux comme identiques (individu moyen) : **bœufs de trait (BdT) ; bovins d'élevage (BE) ; vaches laitières (VL) ; petits ruminants (PR) ; bovins d'embouche (Emb)**. Ces sous modules correspondent aux lots que nous avons observés durant la phase d'enquêtes (même si les VL sont souvent conduites avec les BE).
Plus précisément, on considère que (BE) = (BER) + (VL), c'est-à-dire que le nombre de bovins d'élevage total comporte la somme des lots des VL et des autres bovins d'élevage appelés bovins d'élevage restreints BER (mâles, jeunes, vaches non mises à la reproduction).
On a négligé les élevages de porcs et de volaille, en partie à cause du manque d'informations à ce sujet, mais aussi car les animaux dans ces ateliers étaient peu nombreux et ne faisaient pas l'objet de pratiques de gestion identifiées. Enfin, ces animaux sont destinés à l'autoconsommation des familles et ne rentrent donc pas dans le calcul du produit brut de l'exploitation (pas de vente).

Pour chacun des sous systèmes d'élevage, les variables d'entrée sont les suivantes (Tableau 7) : nombre d'animaux initial en début de campagne, et nombre d'animaux achetés et vendus au cours de chaque période. Notons le cas particulier des VL : puisque nous avons constaté, au cours des enquêtes, qu'il n'est pas toujours facile pour les producteurs de donner l'effectif précis des VL en production parmi les bovins d'élevage, la variable [NVL05uti] est facultative. Si l'utilisateur n'est pas capable de renseigner cette valeur, le modèle calculera automatiquement l'effectif des VL à partir d'un pourcentage fixe du nombre total de bovins d'élevage. Cela dit, ce pourcentage de référence suppose une bonne stabilité entre exploitations : il serait vraisemblablement erroné dans le cas d'exploitations spécialisées lait par exemple. On conseille donc à l'utilisateur de remplir lui-même cette donnée d'entrée.
Pour chaque lot, le modèle calcule ensuite un effectif intermédiaire à chaque début de période en sommant les achats et en retranchant les ventes et les décès (décès calculés par le modèle). Pour simplifier les calculs relatifs à la reproduction, on a décidé de prendre en compte les naissances dans les lots VL et PR seulement à la fin de toute la campagne. Ainsi, seul l'effectif final au 1er mai de l'année n+1 (variable de sortie de ce module) prend en compte les naissances. L'effectif de chaque lot en début de SSC permet de calculer les besoins fourragers du lot pour cette période.

Les variables de sortie sont : la quantité potentielle de déjections produites (en théorie[1]), la quantité de lait produite (pour les VL), le nombre d'animaux produits (pour les VL et les PR), et l'effectif de chaque lot à la fin de la campagne.

[1] La quantité de fumure organique effectivement produite sur l'exploitation est calculée dans le module « production de fumure organique » en prenant en compte à la fois les pratiques du producteur et les pertes possibles (piétinement etc.).

Tableau 7 : Variables d'entrée et de sortie du module "système d'élevage"

		Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES	Effectifs des animaux au début de l'hivernage	Nombre de bœufs de trait	NBdT05	
		Nombre global de bovins d'élevage (sauf bœufs de trait et d'embouche)	NBE05	
		Parmi le nombre global de BE : nombre de VL mises à la reproduction (variable facultative)	NVL05uti	
		Nombre de petits ruminants	NPR05	
		Nombre de bovins d'embouche	NEmb05	
	Achats / Ventes	Nombre d'animaux achetés à chaque saison	$N_{Anx}ach_i$	
		Nombre d'animaux vendus à chaque saison	$N_{Anx}vend_i$	
SORTIES	Reproduction	Nombre de veaux produits par an	ProdveauxAn	
		Nombre de petits ruminants produits par an	ProdPRAn	
	Effectifs des lots à l'hivernage n+1	Nombre total d'animaux dans chaque lot au début de l'hivernage suivant	$N_{Anx}fin$	
	Production laitière	Nombre de litres de lait produits par les vaches laitières au cours de chaque saison	$Prodlait_i$	*en L*
		Total de la production laitière sur l'année	ProdlaitAn	*en L*
	Quantité potentielle de déjections produites	Quantité potentielle de déjections produites par tous les animaux à chaque saison	$QDejpot_i$	*en kg*
		Quantité totale potentielle de déjections sur l'année	QDejpotAn	*en kg*

i = H, F, C pour hivernage, saison sèche froide, et saison sèche chaude ; Anx = BdT, BE, VL, PR et Emb pour bœufs de trait, bœufs d'élevage, vaches laitières, petits ruminants et bovins d'embouche

Pour ce qui est des besoins fourragers, compte tenu de la complexité du système, on va tout d'abord simplifier au maximum (quitte à complexifier dans des travaux ultérieurs) : en se basant sur les décisions d'affourragement, on considère qu'en saison humide, tous les animaux se nourrissent de fourrages hors exploitation (parcours collectifs, bords de champ etc.) et que leur production n'est pas limitante, d'où une couverture satisfaisante des besoins fourragers de tous les lots. De même, en SSF, période de vaine pâture, on considère que les animaux se nourrissent des restes de pâturages disponibles sur les parcours et de la grande quantité de résidus de récolte des parcelles cultivées sur l'exploitation (résidus non stockés par l'exploitant) ou sur les exploitations du terroir villageois. Là encore, on fait l'hypothèse que la quantité disponible de fourrages n'est pas limitante et couvre les besoins fourragers de tous les lots d'animaux.
En SSC par contre, on extrapole les décisions d'affourragement décrites en III.1.4 et on fait l'hypothèse qu'il n'y a plus de fourrages disponibles, que ce soit dans l'exploitation ou en dehors de celle-ci : les besoins fourragers des animaux sont alors uniquement couverts par ce que le producteur décide de leurs apporter (résidus de culture stockés). On pourra considérer qu'un déficit fourrager correspond chez les agriculteurs et agro-éleveurs à des achats d'aliments concentrés (type tourteau de coton TdC) et chez les éleveurs Peuls à un départ en transhumance.

En réalité, on sait que la situation est plus complexe (Dugué, 1999) : les éleveurs ont des difficultés à faire pâturer leurs grands troupeaux entre les parcelles cultivées en saison des pluies car de nombreuses enclaves non cultivées sont peu ou pas accessibles ; les éleveurs ne peuvent pas récolter des quantités de RdC suffisantes pour alimenter leurs grands troupeaux en période de soudure ; les animaux, et en particulier les PR, se nourrissent des restes de pâturages disponibles en SSC même si ces derniers deviennent déficitaires.

Nous retenons tout de même la simplification proposée car elle nous permet de nous affranchir de la difficulté à prendre en compte les apports de fourrages venants de l'extérieur (parcours collectifs, résidus de culture de parcelles hors exploitation) et les prélèvements de fourrages de l'exploitation par des animaux de l'extérieur (rappelons que les systèmes étudiés sont ouverts, sans clôture, et que les animaux peuvent divaguer où ils le souhaitent).
Cette simplification se justifie également par le fait qu'elle met l'accent sur les décisions « actionnables » par l'agriculteur : stockage de résidus de cultures divers, stabulation des animaux la nuit avec distribution de fourrages stockés et d'aliments concentrés achetés, et collecte/transport de la matière organique. Cela permet également d'évaluer la sensibilité de l'exploitation à un manque de résidus, ou le volume nécessaire pour couvrir les besoins des animaux, quitte à en obtenir hors exploitation.

En ce qui concerne la production de fèces, cette simplification nous permet aussi de justifier le fait que seule la production nocturne est considérée comme utile : le jour, les animaux divaguent, pâturent et produisent des fèces sur des zones souvent hors exploitation, et la nuit, lorsque les animaux sont parqués (entre 12 et 14 heures par jour), leurs déjections sont concentrées sur quelques sites, donc potentiellement collectées et valorisées.

- *Module « système de culture »*

Compte tenu des règles de constitution de l'assolement identifiées, nous décomposons le module en cinq sous modules : **coton ; maïs ; sorgho ; cultures secondaires à cycle court** (représentées par le niébé et notées CultSec) **; et cultures fourragères** (représentées par le niébé fourrager et notées CultFrg). Elles correspondent aux principaux choix de culture de la zone :

- *Coton, maïs et sorgho* sont les cultures principales des systèmes étudiés : coton comme culture de rente à la base des revenus des cultivateurs ; maïs comme principale céréale destinée à nourrir la famille (et à la vente des excédents) ; sorgho comme céréale secondaire, moins exigeante en terme de sol et fertilisation, et jouant le rôle de culture d'ajustement.

- *Les cultures secondaires à cycle court* peuvent être variées (mil, riz, arachide, niébé, et sésame) mais elles concernent de très petites surfaces. Vue la rigidité du modèle imposée par Excel, on choisit de simplifier le modèle en représentant toutes les cultures secondaires par une seule légumineuse, le niébé : culture semée souvent plus tard que le coton et les céréales, et récoltée pour l'autoconsommation familiale, elle peut représenter une culture d'ajustement lorsque les dates de semis de coton et de maïs sont dépassées. De plus, ses fanes peuvent être récoltées et valorisées pour l'alimentation animale. D'après les résultats des enquêtes à Koumbia, le niébé est d'ailleurs la culture secondaire en moyenne la plus implantée dans les exploitations étudiées, ce qui va dans le sens de notre choix.

- *Les cultures fourragères* ne représentent qu'une part très faible des assolements mais elles tendent à se développer et doivent être intégrées au modèle dans une perspective de réflexion sur les orientations stratégiques. Comme précédemment, on choisit de les représenter par une seule culture. Devant le peu de données disponibles (et même si le mucuna aurait été plus intéressant puisqu'il est en cours d'expérimentation par les paysans de Koumbia dans le cadre du projet Ferti Partenaires), nous avons choisi le niébé fourrager (légumineuse) comme culture représentative.
Nous ne l'avons pas rencontré dans les exploitations enquêtées à Koumbia, mais son implantation dans la zone ne semble pas improbable étant donné que cette herbacée annuelle est largement répandue dans les pays tropicaux, qu'elle s'adapte à une large gamme de sols (sols sableux à argileux lourds), et qu'elle pousse sous des températures de 30 à 35°C et des pluviométries de 600 à 1000 mm/an conformes aux conditions de notre zone d'étude (Diop et

Coulibaly, 2002). De plus, d'après la DRAHRH (2008), la surface emblavée en niébé fourrager est la seconde surface fourragère avec 240 ha dans la région des Hauts Bassins (derrière la dolique, 270 ha, et loin devant le mucuna, 57 ha).

Chaque sole est caractérisée par la variable d'entrée « nombre d'hectares ». Le pourcentage de résidus de culture récoltés pour le maïs, le sorgho, et les cultures secondaires est défini par cinq modalités : 0, 25, 50, 75, et 100 % des pailles ramassées. Au cours des restitutions, les producteurs ont indiqué qu'ils préféraient que le modèle utilise un paramètre fixe plutôt que de renseigner cette donnée, mais les enquêtes ont montré que les valeurs étaient justement très variables d'une situation à l'autre, d'autant plus que le ramassage des pailles dépend de multiples facteurs (date de semis, qualité des résidus à la date de récolte, main d'œuvre disponible pendant cette pointe de travail…). On préfère donc que l'utilisateur donne au moins un ordre de grandeur.

Les paramètres fixes concernent :
- les exportations en éléments minéraux N, P, K des cultures par tonne produite,
- les rendements moyens des cultures pour la région des Hauts-Bassins (1996-2006) : paramètre servant à calculer les exportations des cultures en éléments minéraux par hectare, à partir des besoins connus à la tonne,
- les rendements grains du coton, maïs, sorgho et cultures secondaires, pour les trois scénarios climatiques définis (favorable, moyen, défavorable),
- les rendements en pailles des cultures, de même pour les trois scénarios climatiques.

Pour les rendements en fonction des années, on s'est appuyé dans un premier temps sur l'ordre de grandeur des rendements de la région pour les années climatiques « type » (données DRAHRH, 2008). Puis, au cours des restitutions, ils ont été corrigés à dire d'experts (paysans) à Koumbia comme à Kourouma. Puisque les rendements identifiés varient d'un village à l'autre, notamment en raison de la différence de type de sol, on a intégré dans le modèle deux gammes de rendements : d'une part ceux de Koumbia, représentatifs de sols sableux peu favorables, et d'autre part ceux de Kourouma, représentatifs de sols plus argileux plus favorables. L'utilisateur peut donc choisir dans le paramétrage soit la gamme « sols Koumbia », soit la gamme « sols Kourouma ».

Le modèle prend donc en compte l'influence du climat sur les rendements grains et pailles des cultures, mais en l'état actuel du simulateur, et en raison d'un manque de données expérimentales à ce sujet, on ne prend pas en compte l'influence de la fertilisation (ni celle du type de sol) sur les rendements, ce qui constitue une limite majeure à ce modèle.

Les variables de sorties sont (Tableau 8) :
- les récoltes grains du coton, maïs, sorgho et cultures secondaires,
- le stock de céréales disponibles pour la famille, le stock alimentaire total, et le bilan céréalier de l'exploitation. S'il est positif, les excédents pourront être vendus.
- les récoltes potentielles de pailles du maïs, sorgho, cultures secondaires et cultures fourragères, et les stocks qui en découlent (limités virtuellement par la capacité maximum de stockage des résidus de culture). Ces quantités sont comparées, dans le module « rations » aux besoins fourragers du troupeau (bilan fourrager).

L'ordre de priorité de stockage des résidus identifié à Koumbia (1. cultures fourragères, 2. maïs, 3. fanes de niébé, 4. sorgho), valable dans d'autres contextes de savanes (Dugué, 1999) a été validé par les producteurs lors de la restitution collective.

Tableau 8 : Variables d'entrée et de sortie du module "système de culture"

		Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES	Assolement	Nombre d'hectares de chaque culture	S_{Cult}	*en ha*
	Récolte des résidus de culture	Proportion de résidus de maïs récoltés	PropRecmais	*en %*
		Proportion de résidus de sorgho récoltés	PropRecsorgho	*en %*
		Proportion de résidus de cultures secondaires récoltés (fanes de niébé)	PropRecCultSec	*en %*
SORTIES	Récoltes grains	Récolte grains du coton	RecGcoton	*en kg/ha*
		Récolte grains du maïs	RecGmais	*en sac/ha*
		Récolte grains du sorgho	RecGsorgho	*en sac/ha*
		Récolte grains des cultures secondaires	RecGCultSec	*en sac/ha*
	Bilan céréalier	Stock de céréales	StockCer	*en sac*
		Stock alimentaire total (céréales+niébé)	StockAlim	*en sac*
		Bilan céréalier (stock de céréales - besoins en céréales de la famille)	BilanCer	*en sac*
	Récoltes potentielles de pailles	Récolte pailles des cultures fourragères	RecPCultFrg	*en kg ou charrette*
		Récolte pailles du maïs	RecPmais	*en kg ou charrette*
		Récolte pailles des cultures secondaires	RecPCultSec	*en kg ou charrette*
		Récolte pailles du sorgho	RecPsorgho	*en kg ou charrette*
	Quantités effectivement récoltées = Stocks de pailles	Stock de pailles de cultures fourragères	StockResCultFrg	*en kg ou charrette*
		Stock de pailles de maïs	StockResMais	*en kg ou charrette*
		Stock de pailles de cultures secondaires	StockResCultSec	*en kg ou charrette*
		Stock de pailles de sorgho	StockResSorgho	*en kg ou charrette*
		Stock total de pailles	StockResTot	*en kg ou charrette*

Cult = coton, mais, sorgho, CultSec, CultFrg (coton, maïs, sorgho, cultures secondaires, cultures fourragères)

- *Module « rations »*

Ce module ne fonctionne qu'en SSC. On a en effet fait l'hypothèse simplificatrice qu'en SSC, l'exploitant alimente ses troupeaux avec des résidus de culture stockés et éventuellement des aliments concentrés achetés à l'extérieur, car contrairement aux autres saisons, les pâturages sont épuisés. En se basant sur les règles d'affourragement identifiées, on a distingué quatre types d'aliments : **résidus de cultures de céréales récoltés** (pailles de maïs et pailles de sorgho), **résidus de culture secondaire récoltés** (fanes de niébé), **cultures fourragères stockées en sec** (fanes de niébé fourrager), **et SPAI** (sous produits agroindustriels représentés ici par du tourteau de coton TdC). Comme dans le précédent module on a intégré les cultures fourragères pour une approche prospective, même si elles sont aujourd'hui encore peu utilisées.

Il n'y a qu'une seule variable d'entrée (Tableau 9) : le mode de complémentation des animaux. Il est défini par cinq modalités : tous les animaux ; tous les bovins ; seulement les BdT et bovins d'embouche ; seulement les bovins d'embouche ; ou bien aucun animal (cas des éleveurs qui n'achètent pas de TdC mais partent en transhumance en cas de déficit).
Nous avons choisi de ne pas mettre les rations en tant que telles en variables d'entrée car dans le contexte local, il semble très difficile pour un éleveur d'expliciter les quantités de fourrages apportées par jour et par animal (même s'il existe une borne supérieure : la capacité maximale d'ingestion d'un UBT est de 6,5 kg de MS/jour). La seule donnée facilement extraite des enquêtes est le stock fourrager total annuel.

Pour le mode de complémentation choisi et pour la seule SSC, ce module réalise un bilan entre la quantité stockée de fourrages issus de l'exploitation (pailles de maïs et de sorgho + RdC secondaires et fourragères) et la quantité de fourrages nécessaires à la couverture des besoins énergétiques et azotés des animaux que le producteur a choisi de complémenter.

On obtient donc en sortie un bilan en UF (unités fourragères) et en MAD (matières azotées digestibles) pour le nombre d'animaux complémentés en SSC. Si ces bilans s'avèrent négatifs, on calcule aussi l'équivalent en TdC à acheter pour combler le déficit fourrager, ainsi que la quantité journalière à distribuer par animal.

Tableau 9 : Variables d'entrée et de sortie du module "rations"

	Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES	Lots d'animaux recevant une complémentation de leur ration en SSC	AnxCompl	*Variable qualitative*
SORTIES	Bilan en UF pour le nombre d'animaux choisi et pour la SSC	BilanUFAn	*en UF*
	Bilan en MAD pour le nombre d'animaux choisi et pour la SSC	BilanMADAn	*en g*
	Nombre de sacs de tourteaux de coton à acheter pour complémenter le nombre d'animaux choisis pendant la SSC	BesTdCach	*en sacs (50 kg)*
	Dose de tourteau de coton à distribuer par jour et par animal pendant la SSC	BesTdCJ	*en kg/j et animal*

- *Module « production de fumure organique »*

Comme le montrent les décisions relatives à la production de fumure organique, il existe de nombreuses modalités. Ce sont à la fois la composition de la FO, et son mode de production qui varient. Pour simplifier le modèle et proposer une synthèse des modalités de production de FO, nous distinguerons simplement les deux modalités principales de production de FO identifiées dans l'analyse des décisions : la production de fumier dans une fosse (déjections, restes de RdC et ordures ménagères) et le parcage des animaux produisant de la poudrette de parc.

Pour chaque saison, nous distinguons trois modalités (Tableau 10) : « fosse » ou « parc », ou encore « néant » si les déjections ne sont pas valorisées (cas où les animaux sont en divagation la nuit[1], ou cas où les animaux sont partis en transhumance…). Nous faisons l'hypothèse simplificatrice que le producteur s'en tient à un type de production de fumure par lot et par saison, même si c'est souvent faux en début de saison humide (les animaux passent en parc d'hivernage seulement une fois que les semis sont terminés et non pas à partir de la saison humide, ce qui fait deux modes de production de FO pour la seule saison humide).
- Pour la modalité « fosse », on considère que les animaux sont parqués la nuit dans un enclos à proximité d'une fosse, et que la somme de leurs déjections et de la litière associée (constituée des refus des RdC apportés en SSC) est versée dans la fosse pour produire du fumier. A cela s'ajoutent les ordures ménagères annuelles de la famille.

[1] Cette pratique s'est avérée fréquente en SSC 2008 du fait d'une forte pénurie de fourrages et points d'eau. Le bétail a été lâché la nuit, car il arrive alors mieux à se nourrir et s'abreuver que durant les journées très chaudes.

- Pour la modalité « parc », on considère que les animaux sont parqués de nuit soit directement sur les parcelles cultivées (parcage mobile observé surtout chez les éleveurs en saison sèche), soit hors parcelles (cas du parcage d'hivernage). Pour cette dernière possibilité, moins généralisée, les déjections sont ramassées à la fin du parcage et épandues sur parcelles cultivées.

Pour chaque modalité, la variable de sortie est la quantité de FO produite, épandable sur les cultures. Cette quantité est ensuite utilisée dans le module « fertilisation » pour calculer un bilan minéral des cultures. On calcule la production de FO à partir des données suivantes :

- pour la modalité « fosse » : lot et nombre d'animaux dont on exploite les déjections, durée de collecte des déjections, quantité de résidus de culture utilisés, quantité d'ordures ménagères disponibles.
- pour la modalité « parc » : lot et nombre d'animaux parqués, durée du parcage.

Tableau 10 : Variables d'entrée et de sortie du module "production de fumure organique"

		Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES		Devenir des déjections des animaux à chaque saison	$ModFO_{Anxi}$	*Variable qualitative*
SORTIES	Modalité FOSSE	Quantité de FO totale produite par la modalité FOSSE à chaque saison	$Qfosse_i$	*en kg*
		Quantité de FO totale produite par la modalité FOSSE pendant toute l'année	QfosseAn	*en kg*
	Modalité PARC	Quantité de FO totale produite par la modalité PARC à chaque saison	$Qparc_i$	*en kg*
		Quantité de FO totale produite par la modalité PARC pendant toute l'année	QparcAn	*en kg*
	Total	Quantité totale de FO produite sur l'exploitation pendant l'année : fumier de fosse + déjections de parc	QFOtot	*en kg*
		Ratio quantité potentielle de déjections productible à l'année sur quantité de FO effectivement produite sur l'exploitation	TxUtiFO	*en %*

i = H, F, C pour hivernage, saison sèche froide, et saison sèche chaude ; Anx = BdT, BE, PR et Emb pour bœufs de trait, bœufs d'élevage, petits ruminants et bovins d'embouche

- *Module « fertilisation »*

Pour chaque sole fertilisée, on considère les trois modalités issues des décisions de fertilisation : **NPK, urée et fumure organique (fumier de fosse ou déjections de parc)**. D'après ces mêmes règles de décision, les seules cultures fertilisées sont le coton, le maïs et de façon marginale le sorgho. Les autres cultures ne reçoivent ni engrais minéraux, ni FO, ou alors les quantités sont très limitées (exemple : le riz chez quelques agriculteurs). Pour les engrais minéraux, la variable d'entrée est la quantité d'engrais épandue par hectare de chaque sole (le modèle impose que la fertilisation soit uniforme sur une même sole et non pas variable d'une parcelle à l'autre), alors que pour la FO, cette quantité est conditionnée par le précédent module « production de fumure organique ».

Les règles de décision révèlent que quelle que soit la stratégie des systèmes, la FO est en priorité épandue sur maïs, puis sur coton, et enfin dans une moindre mesure sur sorgho. On considère donc que les producteurs appliquent leur stock de fumier et de déjections d'abord sur maïs, avec une dose maximale de 6t /ha (recommandations de 6t/ha tous les trois ans par

Berger et al. (1987), soit 2t/ha/an). S'il reste de la FO disponible, elle est appliquée sur coton puis l'éventuel reliquat sur sorgho, avec ce même maximum de 6t /ha.

Tableau 11 : Variables d'entrée et de sortie du module "fertilisation"

		Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES	NPK	Quantité de NPK épandue /ha de culture fertilisée	$QNPK_{Cultf}$	*en kg/ha*
	Urée	Quantité d'urée épandue /ha de culture fertilisée	$QUree_{Cultf}$	*en kg/ha*
SORTIES	FO	Quantité totale de FO épandue /ha de culture fertilisée	$QFO_{Cultf}ha$	*en kg/ha et en charrette/ha*
	Fertilisation totale	Quantité totale d'éléments minéraux apportée aux cultures fertilisées	Q_Etot_{Cultf}	*en kg N,P,K/ha*
	Bilans minéraux pour chaque culture	Bilan minéral (N, P, K) sur le coton	$Bilan_Ecoton$	*en kg N,P,K/ha*
		Bilan minéral (N, P, K) sur le maïs	$Bilan_Emais$	*en kg N,P,K/ha*
		Bilan minéral (N, P, K) sur le sorgho	$Bilan_Esorgho$	*en kg N,P,K/ha*
		Bilan minéral (N, P, K) sur les cultures secondaires	$Bilan_ECultSec$	*en kg N,P,K/ha*
		Bilan minéral (N, P, K) sur les cultures fourragères	$Bilan_ECultFrg$	*en kg N,P,K/ha*

En fonction des compositions de chaque engrais (fraction en N, P et K des engrais minéraux, du fumier et des déjections animales), le module calcule les quantités d'éléments minéraux apportés aux cultures. En sortie, on obtient donc un bilan minéral NPK (Tableau 11) qui compare les besoins minéraux de chaque culture (en fait les exportations d'éléments minéraux extraites du module « système de culture ») avec les apports d'engrais réalisés (et la fixation symbiotique des légumineuses). Le bilan est donc très simplifié puisqu'il ne prend en compte ni les apports minéraux des poussières et eaux de pluies, et par minéralisation de la matière organique, ni les pertes minérales par lixiviation, ruissellement, érosion et volatilisation. Les bilans minéraux des cultures secondaires et fourragères sont par définition négatifs car il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par fertilisation. On ne considère donc que les exportations (moins l'apport de N par fixation symbiotique pour le niébé).

- *Module « économie »*

Dans ce module, on s'intéresse aux **flux financiers dans l'exploitation** (on ne chiffre pas les flux « en nature », liés à l'autoconsommation par exemple), dans le but de réaliser un bilan économique de l'exploitation : total des dépenses annuelles – total des recettes de l'année. On évalue le solde financier des activités de production agricoles qui correspond à la somme des marges brutes. Pour cela, et pour chaque poste (cultures, élevage, main d'œuvre), on doit connaître le prix du produit, et la quantité achetée ou vendue.
Les variables d'entrées concernent donc essentiellement des quantités d'intrants achetés ou des montants totaux de dépenses effectuées au cours de l'année (Tableau 12). La quantité d'engrais est par contre calculée à partir des doses déclarées par l'utilisateur sur chaque sole. Ensuite, connaissant le prix de chaque produit, le modèle calcule les charges opérationnelles liées à chaque poste (engrais, herbicides, insecticides, cultures, élevage), ainsi que le produit brut (cultures, lait, viande). Avec ces données, on réalise donc un bilan économique simple de l'exploitation (produit brut – charges opérationnelles).

Tableau 12 : Variables d'entrée et de sortie du module "économie"

		Description de la variable	Nom de la variable	Unité
ENTREES	Réserves	Quantité de maïs à mettre en réserves (en plus des besoins annuels familiaux)	ReservMais	*en sacs*
	Dépenses liées aux cultures	Nombre de litres d'herbicide total Touchdown achetés	QHerbTDach	*en L*
		Nombre de litres d'herbicide coton Alonet achetés	QHerbCAlach	*en L*
		Nombre de litres d'herbicide coton Galan super achetés	QHerbGSach	*en L*
		Nombre de litres d'herbicide coton CotonDom achetés	QHerbCDach	*en L*
		Nombre de sacs d'herbicide coton Action 80 achetés	QHerbAcach	*en sacs*
		Nombre de litres d'herbicide coton Herbicoton achetés	QHerbHCach	*en L*
		Nombre de litres d'herbicide maïs Altram achetés	QHerbMAlach	*en L*
		Nombre de litres d'insecticides 1er type achetés	QInsect1ach	*en L*
		Nombre de litres d'insecticides 2ème type achetés	QInsect2ach	*en L*
		Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences	CoutSem	*en Fcfa*
	Main d'œuvre	Nombre de journées payées à une main d'œuvre extérieure journalière (désherbage, récolte)	NjourMOext	
		Nombre d'actifs permanents employés de l'extérieur	Nactext	
	Elevage	Montant annuel des frais vétérinaires	CoutVet	*en Fcfa*
		Montant annuel des frais de sel pour les animaux	CoutSel	*en Fcfa*
		Montant annuel des dépenses liées à l'achat de matériel	CoutMat	*en Fcfa*
SORTIES	Charges opération-nelles	Total des dépenses liées aux herbicides	CoutHerb	*en Fcfa*
		Total des dépenses liées aux insecticides	CoutInsec	*en Fcfa*
		Charges opérationnelles liées aux cultures	ChOpCult	*en Fcfa*
		Charges opérationnelles liées à l'élevage	ChOpElev	*en Fcfa*
		Charges opérationnelles totales	ChOptot	*en Fcfa*
	Produit brut	Produit brut lié aux cultures	PBCult	*en Fcfa*
		Produit brut lié à la production laitière	PBlait	*en Fcfa*
		Produit brut lié à la production de viande	PBviande	*en Fcfa*
		Produit brut lié à l'élevage	PBElev	*en Fcfa*
		Produit brut total	PBtot	*en Fcfa*
	Bilan	Bilan économique	BilanEco	*en Fcfa*
		Nombre de BE à vendre en cas de bilan économique négatif	NBEavendre	

III.3) Validation du modèle

Nous avons choisi une **validation par confrontation**, ou à dire d'experts, avec des producteurs et des techniciens des villages de Koumbia et Kourouma. Les réunions collectives (Figure 11) avaient deux objectifs : discuter avec les experts paysans des intérêts et limites du modèle, et valider avec eux le réalisme des sorties du simulateur. A ces discussions collectives se sont ajoutés des entretiens individuels avec des producteurs volontaires pour tester le simulateur sur le cas concret de leur exploitation.

Dans les deux villages (dont un n'a pas servi à la construction du modèle mais a permis de tester la généricité du modèle), on a présenté aux experts la structure générale du modèle (avec ses sept modules), puis le fonctionnement de chacun des modules (variables d'entrée et de sortie). Nous avons pris l'exemple d'une exploitation virtuelle, puis nous leur avons demandé si les sorties du modèle leur semblaient réalistes. Nous leur avons aussi demandé si le modèle était suffisamment simple à utiliser (facilité à renseigner les données d'entrée) et

quels atouts et contraintes ils voyaient dans le simulateur. Ceci nous a permis de **valider pas à pas les différentes variables et paramètres et de faire le point et sur les sorties réellement pertinentes pour les acteurs de terrain et sur les entrées qu'ils sont concrètement capables de renseigner**. Leurs remarques ont été ensuite prises en compte et elles ont donné lieu à des modifications de paramètres, de définition de variables et de mise en équation des calculs de variables intermédiaires.

Figure 11 : Discussions collectives avec les experts de terrain pour la validation du modèle

Toutes les modifications sont listées dans l'Annexe 6. Nous donnons ici un résumé des principaux changements réalisés après discussion avec les experts :

- Changement d'unités des variables d'entrée (pour faciliter leur remplissage) et de sortie (pour faciliter leur compréhension) de façon à ce qu'elles correspondent aux unités utilisées par les paysans : sacs de céréales, sacs d'engrais, charrettes de pailles etc. plutôt que des quantités exprimées en kg ;

- Ajout de variables d'entrée jusque là oubliées : nombre de tracteur, coût d'achat et de traitement des semences, coût d'achat de matériel… et séparation des coûts des différents herbicides et insecticides pour le calcul des charges ; Ajout de variables de sortie intéressantes pour les producteurs : surface cultivée par actif, quantité de tourteau de coton à distribuer par jour et par animal en SSC, quantité de FO épandue par hectare de culture…

- Modification de certaines variables d'entrée : l'effectif initial des VL devient une variable d'entrée facultative ; la proportion de résidus de culture récoltés est choisie dans une gamme d'ordre de grandeur ; les lots d'animaux complémentés sont également à choisir parmi plusieurs modalités ;

- Modification des valeurs de certains paramètres zootechniques (production laitière) et correction du calcul des naissances qui sous-estimait auparavant les naissances ; Modification des paramètres relatifs aux rendements grains (variables d'un village à l'autre).

Ainsi, le simulateur que nous avons élaboré dans sa version finale intègre les modifications préconisées par les experts de terrain. La validation a donc fait partie de sa conception et nous pouvons espérer qu'avec les modifications réalisées, son utilisation fournit des résultats à la fois réalistes et pertinents pour les utilisateurs.

III.4) Etude de quelques scénarios d'évolution

Nous proposons maintenant d'illustrer quelques utilisations possibles du modèle en simulant quelques scénarios d'évolution d'une exploitation réelle : à partir d'une situation initiale connue, nous élaborons deux scénarios d'évolution successifs, et nous analysons les conséquences technico-économiques que prévoit le modèle. Ainsi, nous pouvons illustrer comment l'utilisation du modèle peut accompagner la démarche de réflexion des agriculteurs et éleveurs sur leur fonctionnement et le devenir de leurs systèmes de production.

III.4.1) Situation initiale de l'exploitation

Dans notre exemple (Tableau 13), on considère l'exploitation d'un agriculteur A (A3 de Kourouma), qui en situation initiale cultive une surface de 9,75 ha : 3 ha de coton, 3,5 ha de maïs, 3 ha de sorgho et cultures secondaires et 0,25 ha de cultures fourragères. Il utilise des herbicides totaux, des herbicides spécifiques du coton et du maïs, ainsi que des insecticides pour le coton. Au début de la campagne, il possède 4 BdT, 15 BE et 7 PR. Il achète deux BE et en revend un au cours de l'année, mais il ne possède pas d'atelier d'embouche. En SSC, si les fourrages stockés par l'agriculteur sont insuffisants, il complémente la ration des BdT avec du TdC. La FO produite par les animaux est de la terre de parc, valorisée sur maïs.

Tableau 13 : Caractéristiques technico-économiques de l'exploitation A (données d'entrée)

Caractéristiques de l'exploitation	*Unités*	Situation initiale
Nombre de bouches à nourrir		11
Nombre d'actifs		3
Nombre de charrues		1
Nombre de tracteurs		0
Nombre maximum de charrettes (petit plateau) de pailles que l'exploitant peut stocker	*en charrettes*	15
Surface totale cultivée	*en ha*	9,75
Nombre d'hectares de coton	*en ha*	3
Nombre d'hectares de maïs	*en ha*	3,5
Nombre d'hectares de sorgho	*en ha*	2
Nombre d'hectares de cultures secondaires	*en ha*	1
Nombre d'hectares de cultures fourragères	*en ha*	0,25
Proportion de résidus de maïs récoltés	*en %*	25%
Proportion de résidus de sorgho récoltés	*en %*	100%
Proportion de résidus de cultures secondaires récoltés	*en %*	0%
Nombre de BdT au début de l'hivernage		4
Nombre global de BE (sauf BdT et d'embouche)		15
Nombre de PR au début de l'hivernage		7
Nombre global de bovins d'élevage achetés		2
Nombre global de bovins d'élevage vendus		1
Nombre de bovins d'embouche achetés		0
Nombre de bovins d'embouche vendus		0
Quantité de maïs à mettre en réserves	*en sacs*	10
Nombre de litres d'herbicide total Touchdown achetés	*en L*	15
Nombre de litres d'herbicide coton CotonDom achetés	*en L*	5
Nombre de litres d'herbicide maïs Altram achetés	*en L*	15
Nombre de litres d'insecticides 1er type achetés	*en L*	12
Nombre de litres d'insecticides 2ème type achetés	*en L*	6
Montant annuel des frais vétérinaires	*en Fcfa*	16 650
Montant annuel des frais de sel pour les animaux	*en Fcfa*	15 000

III.4.2) Premier scénario : réduction de la sole cotonnière au profit du maïs

- *Définition du scénario 1*

Pour élaborer les scénarios, nous nous inspirons des orientations stratégiques analysées précédemment : ayant constaté que les agriculteurs et agro-éleveurs ont tendance à réduire leur surface en coton (au profit de la sole céréalière), nous imaginons un **premier scénario** dans lequel **la sole cotonnière est divisée par deux**. La **surface libérée est réaffectée en majorité au maïs (+1ha)**, et dans une moindre mesure aux **cultures fourragères (+0,5ha)**.
Ce scénario implique une réduction des achats en insecticides et herbicides coton, et une augmentation pour les herbicides maïs (Tableau 14). Concernant les variables de sortie, nous pouvons nous attendre à une réduction de moitié des récoltes et ventes en coton, mais une augmentation parallèle des récoltes de maïs, d'où un bilan alimentaire plus excédentaire et une plus grande quantité de maïs vendue. En outre, la surface supplémentaire en cultures fourragères entraîne un accroissement de la quantité de fourrages de qualité pour les animaux, d'où un meilleur bilan fourrager. Le bilan minéral quant à lui est susceptible de se détériorer car l'agriculteur va disposer de la même quantité de FO, mais à épandre sur une plus grande surface de maïs.

Tableau 14 : Modifications impliquées par le scénario 1 dans l'exploitation A

Caractéristiques de l'exploitation	*Unités*	Scénario initial	Scénario 1
Nombre d'hectares de coton	*en ha*	3	1,5
Nombre d'hectares de maïs	*en ha*	3,5	4,5
Nombre d'hectares de sorgho	*en ha*	2	2
Nombre d'hectares de cultures secondaires	*en ha*	1	1
Nombre d'hectares de cultures fourragères	*en ha*	0,25	0,75
Nombre de litres d'herbicide coton CotonDom achetés	*en L*	5	2,5
Nombre de litres d'herbicide maïs Altram achetés	*en L*	15	18
Nombre de litres d'insecticides 1er type achetés	*en L*	12	6
Nombre de litres d'insecticides 2ème type achetés	*en L*	6	3

- *Résultats de la simulation du scénario 1 : une amélioration nette des bilans alimentaire et fourrager*

La figure 12 montre que le scénario 1 permet une amélioration du bilan alimentaire de l'exploitation. Ceci s'explique par l'augmentation de la surface et donc de la quantité de maïs récoltée (+1 t, +2,6 t et +3,7 t pour une année respectivement défavorable, moyenne, et favorable). Grâce aux 0,5 ha supplémentaires de cultures fourragères, le bilan fourrager est également nettement amélioré, puisque l'excédent en UF (stock disponible – besoins des animaux) est multiplié par un facteur 3 à 7 suivant les années climatiques. Ceci s'explique par l'augmentation de la part de fourrages de qualité dans le stock total. Les cultures fourragères apportent en effet plus d'énergie aux animaux que les pailles de céréales (0,64 vs. 0,35 UF/kg MS). Cet excédent pourrait servir à l'affourragement d'animaux supplémentaires (bovins d'embouche).
En revanche, le scénario 1 entraîne une réduction de la dose de fertilisation organique (Figure 13). Puisque le nombre d'animaux est inchangé, la quantité de FO produite est aussi inchangée. En conséquence, le producteur doit épandre la même quantité de FO sur une surface en maïs plus grande d'un hectare, d'où une quantité moindre d'éléments minéraux apportée par hectare de maïs (de l'ordre de -400 kg/ha). Il en résulte une légère détérioration

du bilan minéral sur maïs, même s'il reste positif pour N et P (Tableau 15). La surface bénéficiant d'apport d'azote par fixation des légumineuses fourragères s'est par contre accrue.

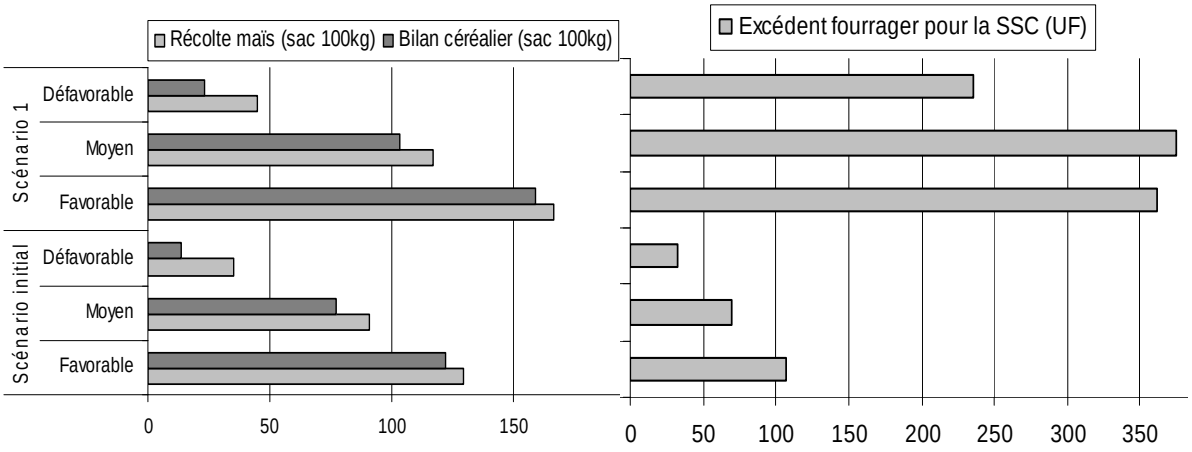


Figure 12 : Comparaison des bilans alimentaire et fourrager de l'exploitation A pour trois années climatiques (scénario initial vs. scénario 1)

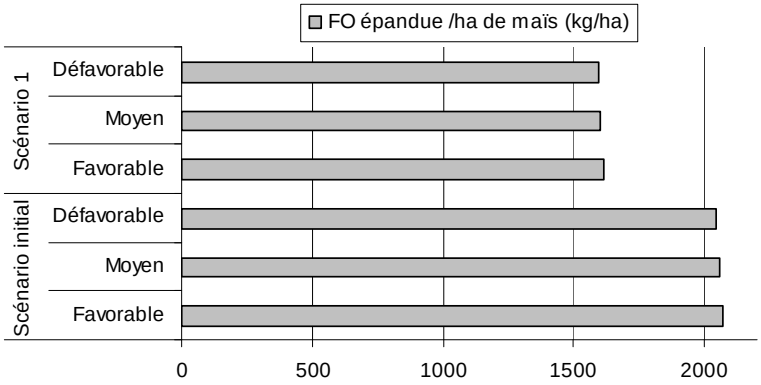


Figure 13 : Comparaison de la quantité de FO épandue sur maïs dans l'exploitation A pour trois années climatiques (scénario initial vs. scénario 1)

Tableau 15 : Comparaison du bilan minéral sur maïs de l'exploitation A pour une année moyenne (scénario initial vs. scénario 1)

Bilan (en kg/ha)	**Scénario initial**	**Scénario 1**	**Evolution (%)**
Bilan en N	17,9	12,1	-32,4
Bilan en P	23,0	21,8	-5,2
Bilan en K	-25,8	-28,8	-11,6

D'un point de vue économique, le scénario 1 ne modifie pas les charges opérationnelles et le produit brut liés à l'élevage. Les producteurs n'achètent en effet pas moins de TdC qu'en situation initiale car le bilan fourrager était déjà positif au départ (Figure 12). Le scénario 1 entraîne en revanche une légère baisse des charges liées aux cultures (-7%), et pour une année moyenne seulement, une hausse du produit brut lié aux cultures (Figure 14). Il en résulte une amélioration du bilan économique de 16% pour une année moyenne. Pour une année favorable, il est similaire (-0,1% par rapport au scénario initial) et pour une année défavorable en revanche, il chute de 16% en portant le déficit économique à plus de 383 000 Fcfa. En cas de mauvais rendements, la baisse du produit de la vente des cultures (moins de coton et maïs à

vendre) n'est en effet pas compensée par la baisse des charges opérationnelles, et le bilan économique global en est pénalisé.

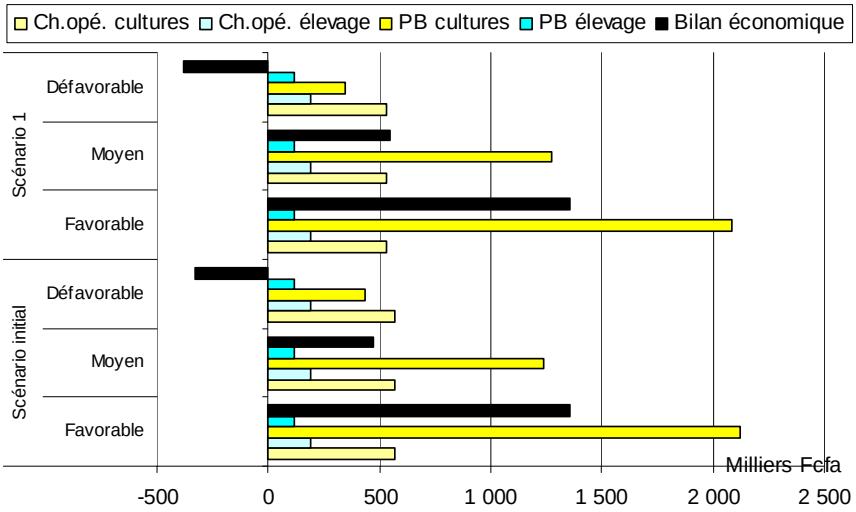


Figure 14 : Comparaison du bilan économique de l'exploitation A pour trois années climatiques (scénario initial vs. scénario 1)

- *Réflexion sur l'orientation stratégique de l'agriculteur A*

D'après les résultats obtenus, on constate que le scénario 1 améliore le bilan alimentaire pour la famille mais produit un excédent fourrager qui n'est pas valorisé par ailleurs, quelle que soit l'année climatique. De plus, en cas d'année défavorable, les mauvais rendements pénalisent le fonctionnement du système et aboutissent à un bilan économique plus négatif qu'en situation initiale. Pour optimiser le système, on pourrait donc imaginer une stratégie qui intègre mieux agriculture et élevage : garder les 0,75 ha de cultures fourragères et compléter le scénario 1 par l'achat de bovins supplémentaires (si les liquidités le permettent), qui valoriseraient le surplus de fourrages de qualité issu de la sole fourragère. En cas d'année défavorable, cette stratégie permettrait peut-être de sécuriser une partie des revenus grâce à la vente des bovins (moins soumise aux fluctuations climatiques que le rendement des cultures).

III.4.3) Deuxième scénario : intégration d'un petit atelier d'embouche

- *Définition du scénario 2*

Tableau 16 : Modifications impliquées par le scénario 2 dans l'exploitation A

Caractéristiques de l'exploitation	*Unités*	Scénario 1	Scénario 2
Nombre maximum de charrettes (petit plateau) de pailles que l'exploitant peut stocker	*en charrettes*	15	30
Nombre global de bovins d'élevage achetés		2	1
Nombre global de bovins d'élevage vendus		1	0
Nombre de bovins d'embouche achetés		0	2
Nombre de bovins d'embouche vendus		0	2
Montant annuel des frais vétérinaires	*en Fcfa*	16 650	20 000
Montant annuel des frais de sel pour les animaux	*en Fcfa*	15 000	19 000

Pour tenter d'améliorer la première simulation d'évolution, nous élaborons un second scénario, dans lequel l'agriculteur A développe un atelier d'embouche de saison sèche et double sa capacité de stockage de fourrages par rapport au scénario 1. Il achète ainsi 1 BE, et 2 bovins d'embouche qu'il revend en fin de SSC (Tableau 16). Au niveau des données d'entrée, ceci implique une augmentation des frais d'élevage (soins vétérinaires et sel). En sortie, nous nous attendons à un doublement du stock fourrager, et à une augmentation des charges et du produit brut lié à l'élevage (due à l'achat et la vente des bovins d'embouche).

- *Résultats de la simulation du scénario 2 : une amélioration plus nette des résultats économiques*

Le bilan alimentaire est inchangé puisque l'assolement (et donc les récoltes) est le même que précédemment. Le bilan minéral n'est quasiment pas modifié du fait de la production de FO supplémentaire par les deux bovins d'embouche (+10 kg de fumier épandu /ha maïs). En revanche, le bilan fourrager est nettement moins excédentaire que dans le scénario 1 (Figure 15), ce qui signifie qu'il y a moins de fourrages inutilisés et que l'agriculteur nourrit ici un troupeau plus en cohérence avec les ressources fourragères disponibles : même si la capacité de stockage et le stock effectif de fourrages a doublé (4,5 t au lieu de 2,25 t), la présence d'animaux supplémentaires en SSC a permis de valoriser les unités fourragères disponibles. Ainsi, l'excédent en UF chute respectivement de 17%, 56% et 87% en année favorable, moyenne et défavorable : le bilan fourrager tend à s'équilibrer, surtout en année défavorable.

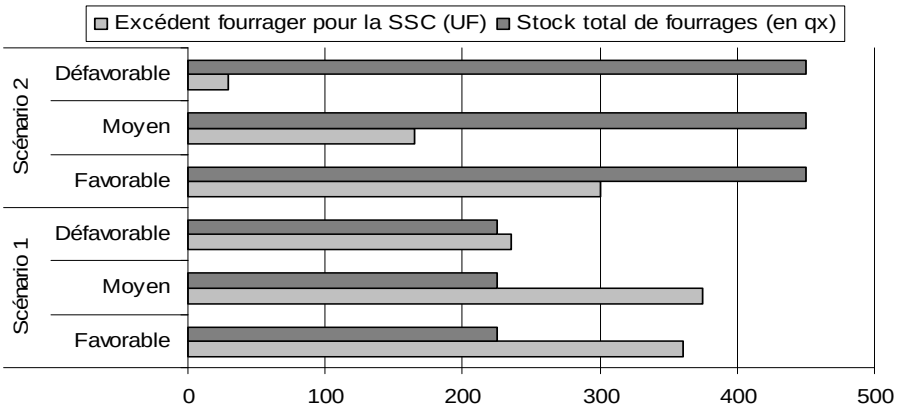


Figure 15 : Comparaison du stock et de l'excédent fourrager de l'exploitation A pour trois années climatiques (scénario 1 vs. scénario 2)

Enfin, le scénario 2 permet une amélioration des résultats économiques de l'exploitation (Figure 16). Si les composantes du bilan liées aux cultures ne changent pas, le bilan de l'activité d'élevage est nettement amélioré : il passe de -74 650 à +38 000 Fcfa, soit une augmentation de 112 650 Fcfa chaque année grâce à la revente des deux bovins embouchés. Le bilan économique croît ainsi respectivement de 8%, 21% et 29% pour une année favorable, moyenne et défavorable. Le scénario 2 permet donc dans une certaine mesure de sécuriser les revenus de l'exploitation A, même si le bilan reste négatif en année défavorable.

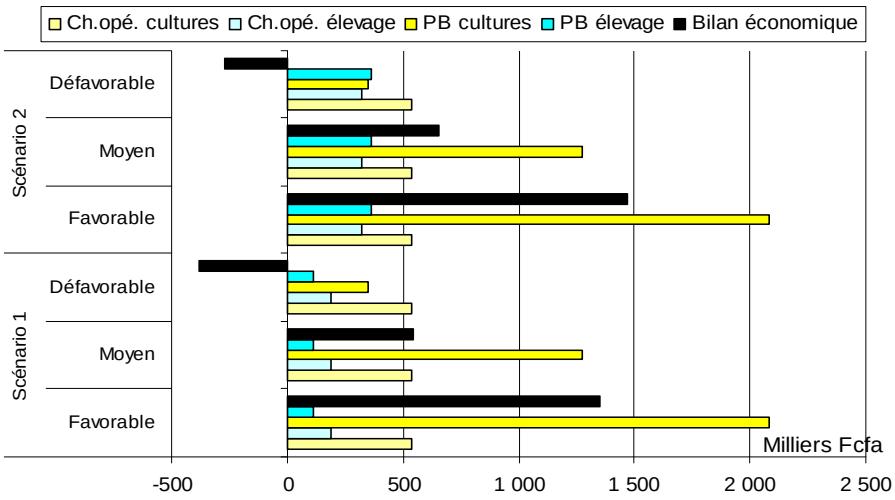


Figure 16 : Comparaison du bilan économique de l'exploitation A pour trois années climatiques (scénario 1 vs. scénario 2)

- *Réflexion sur les orientations stratégiques possibles de l'agriculteur A*

Ainsi, les résultats du simulateur semblent montrer que la stratégie développée dans le scénario 2 améliore le bilan économique de l'exploitation grâce à la valorisation de l'excédent fourrager, tout en préservant la sécurité alimentaire de la famille. Toutefois, le bilan minéral est quelque peu dégradé malgré la légère augmentation de production de FO, et le bilan économique est toujours négatif en année défavorable. Pour améliorer le système de production, il faudrait sans doute poursuivre la réflexion autour du développement d'un atelier d'embouche de plus grande ampleur, permettant à la fois un meilleur produit brut et une plus grande production de FO à épandre sur maïs. Cela suppose d'approfondir le raisonnement autour de l'équilibre à trouver entre ressources fourragères et besoins du troupeau. Nous pourrions aussi tester l'impact sur le bilan minéral d'une production de FO à base de fumier (à partir des déjections bovines et de l'excédent fourrager), plus riche en éléments minéraux que la poudrette de parc. Ceci impliquerait la construction d'une fosse à fumier. Ainsi, nous pourrions poursuivre cette démarche de scénarios successifs pour réfléchir aux différentes opportunités qu'ils offrent.

IV. Discussion

IV.1) Intérêts et limites de l'étude

IV.1.1) Principaux intérêts

Cette étude nous a permis, au moyen d'une **analyse des règles de décision** de divers producteurs, de **comprendre la diversité de leurs pratiques et leurs adaptations en fonction de leurs grandes orientations stratégiques**. Nous avons donc pu aller au-delà de la typologie des UP de Blanchard (2005), en expliquant la diversité des décisions techniques au regard des différentes stratégies des producteurs. Ces décisions s'inscrivent par ailleurs dans un contexte changeant : baisse du prix du coton et de la sole cotonnière, hausse du prix des engrais minéraux et difficulté d'accès à ces engrais à cause de la baisse du crédit apporté par

la filière coton, intérêt croissant pour la production de FO et l'introduction de cultures fourragères dans les assolements… Ainsi, les enquêtes ont permis à la fois de comprendre le fonctionnement et le mode de gestion des systèmes de production locaux, et aussi d'entamer une réflexion sur leurs trajectoires d'évolution possibles.

Dans un deuxième temps, nous avons élaboré un **outil de calcul simple** permettant de se projeter dans l'avenir et de **réfléchir aux perspectives d'évolution de ces systèmes de production**. Les principaux intérêts de ce simulateur sont : (1) de pouvoir être rapidement développé, utilisable et même modifiable de façon simple par ses utilisateurs ; (2) d'intégrer le résultat des règles de décision identifiées et de représenter le fonctionnement technico-économique des exploitations ; (3) de pouvoir calculer de façon simple les effets des choix réalisés en matière d'orientation stratégique (conduite des systèmes de culture et d'élevage, gestion de la fertilité) sur les performances technico-économiques d'une exploitation présentant une configuration structurelle donnée. Le simulateur élaboré dans le cadre de cette étude représente donc un outil de réflexion stratégique dans le sens où il permet aux producteurs d'évaluer *ex-ante* les impacts techniques et économiques de tel ou tel choix stratégique sur les performances de leur exploitation.

Enfin, un autre intérêt majeur de cette étude est d'avoir produit un **modèle assez générique pour pouvoir être reproductible** dans d'autres contextes sub-sahariens de polyculture élevage. Ainsi, on pourrait reproduire la démarche employée (compréhension des pratiques et orientations stratégiques via une analyse des décisions, puis élaboration d'un outil de calcul et de réflexion stratégique) dans d'autres zones cotonnières : il faudrait simplement adapter la structure et le paramétrage du modèle pour valider son utilisation dans d'autres contextes.

IV.1.2) Retour critique sur les méthodes

Une des difficultés rencontrées au cours de l'étude était le déroulement même des enquêtes : les entretiens avaient lieu en présence d'un interprète et les producteurs étaient parfois réticents à me répondre en présence de cette tierce personne, notamment en ce qui concerne les résultats économiques ou encore la composition exacte des troupeaux chez les éleveurs Peuls, symbole de richesse et de réussite sociale et qui doit rester confidentiel. De plus, la présence d'un intermédiaire, au-delà de ralentir le dialogue, ajoutait de la distance entre le producteur et moi, ce qui pouvait accentuer leur méfiance et leur réticence à me répondre. En tant que femme blanche non issue du milieu agricole, il aura fallu plusieurs semaines avant de pouvoir gagner un peu la confiance des producteurs. En conséquence, pour une prochaine étude, je suggèrerais de mener les enquêtes de planification (primordiales pour la compréhension du fonctionnement des systèmes) en plusieurs étapes, de manière à obtenir plus d'informations. Enfin, le fait que l'interprète soit lui-même un producteur n'était pas toujours un avantage : en tant qu'expert de terrain, il ne se contentait pas toujours de traduire, mais il interprétait le discours de la personne enquêtée, sans que je sache précisément ce qui émanait de l'un et de l'autre.

Au cours des enquêtes de planification, il était difficile de formaliser les décisions sous la forme « *Si… Alors…* ». Si les producteurs utilisent indéniablement des règles pour prendre leurs décisions, elles sont le plus souvent implicites et il leur est très difficile de les expliciter. En conséquence, la formalisation de ces règles a eu lieu après les enquêtes, et après le suivi de campagne, par confrontation entre les pratiques annoncées, celles effectivement réalisées en cours de campagne et les explications du producteur. Il n'en reste pas moins que même avec cette confrontation, toutes les règles de décision n'ont pu être énoncées sous cette forme.

Etant donnée la difficulté à mener des enquêtes rétrospectives, nous nous sommes aidés, pour suivre en cours de campagne les pratiques de gestion des systèmes de culture et d'élevage, avec des fiches de suivi que les producteurs devaient remplir chaque jour. Ce procédé permettait de ne pas perdre d'informations et de gagner du temps durant les enquêtes de suivi. Cela dit, étant donné que de nombreux producteurs ne savent ni lire ni écrire, le remplissage des fiches était très contraignant car il nécessitait l'aide des enfants, de la famille ou des voisins. C'est la raison pour laquelle les fiches n'ont pas toujours été renseignées de façon assidue. Il fallait donc reprendre a posteriori avec le producteur le déroulement journalier de ses activités, ce qui pouvait donner une description plus imprécise des événements.

Enfin, l'étape de validation du modèle pourrait être améliorée : après avoir soumis le simulateur aux experts de terrain (agriculteurs et techniciens) et apporté des corrections d'après leurs remarques, le simulateur n'a pas été à nouveau testé en conditions réelles. Il aurait été pourtant intéressant de mener une seconde étape de test auprès des producteurs, une fois leurs corrections intégrées au modèle (en termes de paramétrage mais aussi en ce qui concerne les variables d'entrée et de sortie). Elle aurait permis de valider de façon plus fiable le réalisme des sorties, et serait nécessaire avant l'utilisation opérationnelle du modèle.

IV.1.3) Retour critique sur les résultats fournis

- *Une analyse des décisions à approfondir grâce à un dispositif de suivi permanent*

L'analyse des règles de décision que nous avons présentée comporte plusieurs lacunes. D'une part, certaines composantes du fonctionnement des exploitations n'ont pas été analysées, car incompatibles avec notre calendrier de travail : règles liées aux récoltes, au désherbage, à l'organisation du travail... D'autre part, certaines composantes n'ont été étudiées qu'en termes de planification, et demanderaient à être approfondies au cours d'un suivi plus long : règles régissant le travail du sol, l'application de FO et d'engrais minéraux, la complémentation des animaux en RdC (pailles de céréales, fanes de légumineuses) et aliments concentrés (TdC, son de céréales etc.). Il serait également nécessaire d'approfondir certaines règles déjà identifiées : prendre en compte les différentes variétés de chaque culture au lieu de considérer une seule variété moyenne comme cela a été fait.

Cela dit, l'objectif de ce stage n'était pas de fournir de manière exhaustive toutes les règles de décision régissant le fonctionnement de tout type d'exploitation, mais plutôt de donner, à partir de six cas étudiés finement, un ensemble de règles régissant les principales composantes du fonctionnement des exploitations et illustrant la diversité des pratiques des producteurs. Cette analyse, même si en partie approximative, a permis de fournir un cadre suffisamment générique pour en déduire un modèle conceptuel du fonctionnement des exploitations.

- *Un modèle qui simplifie la réalité*

L'élaboration d'un modèle implique nécessairement des formalisations qui simplifient la réalité. Notre simulateur ne fait pas exception et présente plusieurs simplifications :

- les animaux sont supposés identiques au sein d'un lot (animal moyen) et le modèle ne tient pas compte d'éventuelles différences de performances d'un individu à l'autre. Ceci peut poser problème dans l'évaluation de la production laitière des VL par exemple.

- les pratiques de complémentation des animaux en aliments concentrés sont (1) limitées à un seul aliment (TdC) alors que les producteurs distribuent souvent du son de céréales,

et (2) considérées comme identiques au sein d'un même lot, alors que les producteurs peuvent avoir des pratiques différentes d'un individu à l'autre (complémentation des individus les plus faibles impossible à prendre en compte à l'échelle du lot dans le modèle).

- les pratiques agricoles sont considérées comme identiques et moyennes au sein d'une même sole (toutes les zones cultivées en maïs reçoivent exactement la même fertilisation par exemple). Or dans la réalité, les producteurs fertilisent différemment leurs parcelles en fonction des types de sol. De plus, l'application de FO ne se fait pas sur toute une sole mais sur une zone localisée et qui change chaque année.

- les cultures secondaires et fourragères sont toutes assimilées à une seule plante (respectivement niébé et niébé fourrager), même si dans la réalité les producteurs sèment d'autres cultures (riz, arachide, mil, sésame, mucuna…). Le système de culture est donc représenté de façon approximative.

- on demande à l'utilisateur de prévoir la proportion de récolte des RdC de maïs, sorgho et cultures secondaires, alors que nous savons que cette décision est difficilement prévisible : elle dépend de l'état des résidus au moment des récoltes (maturité dépendante de la date de semis), mais aussi de la main d'œuvre disponible à une période de pointe de travail. La proportion de résidus récoltés est donc rarement uniforme au sein d'une même sole, mais variable d'une parcelle à l'autre.

- les deux gammes de rendements utilisés pour paramétrer le modèle ne tiennent compte ni du type de sol ni de l'itinéraire technique appliqué (pratiques de fertilisation données en entrées notamment). Le modèle ne prend pas en compte l'effet de la date de semis, du travail du sol, de la gestion de l'enherbement. Il ne peut pas non plus modéliser l'effet d'une augmentation de dose d'engrais sur les rendements, ce qui limite son intérêt pour montrer aux producteurs qu'une meilleure valorisation de la FO profite aux rendements.

- le bilan minéral est très approximatif puisqu'il ne tient compte que des apports d'engrais (et apports d'N par fixation symbiotique) comparés aux exportations des cultures.

- le système fourrager n'est modélisé que pour la SSC et la dimension hors exploitation (parcours collectifs) n'est pas prise en compte pour l'affourragement des troupeaux.

Ces simplifications, imposées notamment par la rigidité du support informatique choisi, ne sont toutefois pas incompatibles avec l'utilisation future du modèle : celui-ci n'est en effet pas destiné à représenter finement les phénomènes modélisés (ce n'est pas un modèle mécaniste), mais à donner des ordres de grandeur et des tendances en réponse à des scénarios d'évolution donnés, de façon à pouvoir alimenter la réflexion des agriculteurs et conseillers sur les opportunités de telle ou telle orientation stratégique à l'échelle de l'exploitation.

IV.2) Perspectives de l'étude

Au terme de cette étude, nous pouvons dégager plusieurs points qui pourraient être traités dans des travaux ultérieurs. Tout d'abord, pour compléter la caractérisation et la compréhension des règles de décision, il serait nécessaire de **mettre en place un dispositif de suivi permanent des pratiques, corrélé à l'analyse de la pluviométrie**. Il serait en effet intéressant de mieux analyser le lien entre pratiques agricoles et climat (pour l'installation des

cultures notamment). Ceci supposerait la mobilisation d'enquêteurs fiables et expérimentés, qui s'entretiendraient avec les producteurs pendant toute l'année (suivi de toute la campagne), voire pendant plusieurs années. Les enquêteurs devraient donc être très disponibles et motivés par le projet. Ce dispositif nécessiterait également un grand intérêt de la part des agriculteurs. Pour cela, il faudrait qu'ils puissent sentir rapidement les retours que le projet peut leur apporter (conseil technique ou de gestion par exemple).

Dans cette optique, la prochaine étape du projet CORUS devra inclure une **réflexion sur l'utilisation future du simulateur élaboré et les bénéfices que pourront en tirer les producteurs**. Qui l'utilisera, avec qui, comment, et surtout pour quoi faire ? Le modèle a été développé pour aider producteurs et conseillers dans leur réflexion sur les orientations stratégiques possibles, en leur donnant une première évaluation simple des conséquences technico-économiques de changements dans la gestion des systèmes de production. Ainsi, nous pouvons voir au moins **deux utilisations possibles et complémentaires** :

- d'une part, le modèle pourra être utilisé comme support à un conseil technique destiné aux agriculteurs pour améliorer les performances de leur exploitation ;
- d'autre part, le modèle pourra servir à l'élaboration de scénarios d'évolution, auxquels les partenaires du projet pourraient confronter les producteurs pour étudier leurs règles de décision face à ces nouvelles situations potentielles. Le modèle pourrait donc servir, de manière rétroactive, à l'approfondissement de l'analyse des décisions.

Pour la suite du projet CORUS, il sera nécessaire de **réfléchir à la forme que nous voulons donner au conseil technique** (conseil individuel ou collectif ?), ainsi qu'au **dispositif à mettre en place** pour répondre à ces attentes : qui pourra bénéficier du conseil technique, qui sera responsable de ce conseil, qui utilisera le modèle etc. Peut-être serait-il judicieux de coupler la démarche de conseil à des sessions de formation technique pour les agriculteurs, de manière à mieux les sensibiliser sur les innovations pouvant être des leviers d'action pour l'amélioration du fonctionnement de leurs systèmes de production. Ces formations collectives pourraient également être l'occasion de les familiariser avec l'utilisation du modèle et de sa démarche de réflexion stratégique : la réflexion pourrait démarrer à l'échelle collective pour sensibiliser les producteurs, avant de l'appliquer individuellement sur leur propre exploitation.

Pour faciliter l'analyse des sorties et la comparaison de différents scénarios d'évolution, nous pourrions d'ailleurs réfléchir à une autre interface que le tableur Excel. Ceci permettrait de créer des tableaux/graphiques de comparaison plus rapidement exploitables par l'utilisateur.

Enfin, il existe un autre axe de réflexion pour la suite du projet CORUS : celui de l'élaboration d'un modèle à deux modules, l'un biophysique, l'autre décisionnel. Ce modèle irait plus loin que le simulateur Excel puisqu'il prendrait en compte l'impact des règles de décision des producteurs sur le fonctionnement de l'exploitation. Avec un tel outil, nous serions donc à même de tester des scénarios à plus long terme et prenant en compte la composante décisionnelle du fonctionnement des exploitations. Son élaboration nécessiterait d'approfondir les règles de décision identifiées jusqu'alors ainsi qu'une modélisation plus fine des processus biophysiques (relation fertilisation, itinéraire technique et rendements notamment). Le simulateur élaboré constitue une première étape utile à la suite de ce travail.

En définitive, deux voies (complémentaires) s'offrent à présent pour la poursuite du projet CORUS : d'une part, celle de l'utilisation opérationnelle d'un outil simple de calcul et de réflexion stratégique pouvant rapidement donner lieu à un conseil technique aux producteurs ; d'autre part, celle de la construction d'un outil de recherche plus générique permettant de

prospecter sur l'évolution à plus long terme des systèmes de production et sur leur durabilité. Pour la seconde option, il serait intéressant d'inclure la dimension du territoire villageois), de manière à prendre en compte l'impact de divers scénarios sur les ressources collectives.

Conclusion

Dans le bassin cotonnier de l'Ouest du Burkina-Faso, le contexte actuel de forte pression sur les ressources agrosylvopastorales couplé à une baisse du prix du coton et hausse de celui des intrants rend nécessaire une réflexion sur l'évolution des systèmes de production agricole. La recherche agronomique a pour but de développer des outils d'aide et d'accompagnement des producteurs pour une amélioration des performances technico-économiques de leur exploitation et une optimisation des ressources. Une opportunité intéressante pour l'évolution des systèmes de production serait notamment une meilleure intégration agriculture élevage.

Dans cette optique, nous avons, au cours de ce stage, analysé le fonctionnement et les modes de gestion de ces systèmes, en identifiant les règles de décision régissant les principales composantes de leur fonctionnement. Cette analyse a permis de comprendre comment les producteurs prennent leurs décisions et les adaptent en fonction de différentes orientations stratégiques. Puis, à partir de ce cadre suffisamment générique, nous avons élaboré un modèle conceptuel du fonctionnement des exploitations, avant de l'implémenter dans un tableur.

Ce modèle permet de modéliser les évolutions potentielles d'une exploitation et d'explorer les conséquences technico-économiques de divers changements de conduite. Il s'agit d'un outil de calcul simple, se voulant rapidement et facilement utilisable par un conseiller technique. Nous avons de plus cherché à ce qu'il soit le plus générique possible afin de pouvoir éventuellement être utilisable dans d'autres contextes. Cependant certaines contraintes dues à la rigidité du support informatique imposent des simplifications dans les formalisations et limitent la diversité de ses champs d'application.

Malgré ces limites, le simulateur peut maintenant servir d'outil d'aide à la réflexion stratégique pour les producteurs. Les premiers scénarios simulés montrent l'intérêt d'une telle approche, qui permet de mieux appréhender les conséquences à attendre de changements dans la structure et les modes de conduite des systèmes sur les performances technico-économiques des exploitations. Quelques tests de scénarios d'évolution ont d'ailleurs permis de mettre en évidence certains leviers d'action (renforcement de la valorisation de la fumure organique, augmentation de la production de cultures fourragères, augmentation de la capacité de stockage de fourrages, renforcement des activités d'élevage des agriculteurs…). En outre, ce modèle peut servir à confronter les producteurs à de nouveaux scénarios d'évolution de manière à approfondir leurs règles de décisions face à de nouvelles stratégies.

Ainsi, au terme de cette étude, de nombreuses pistes de réflexion restent ouvertes quant à l'utilisation du simulateur élaboré, et à la forme que pourrait prendre le conseil technique auprès des producteurs. Celui-ci pourrait s'accompagner de formations collectives sur des thèmes techniques, de manière à sensibiliser les producteurs sur les leviers d'action disponibles et enrichir la réflexion sur leurs orientations stratégiques. Pour la poursuite du projet CORUS, une autre voie complémentaire serait d'élaborer un modèle plus complexe et plus générique, prenant en compte la composante décisionnelle du fonctionnement des exploitations. Cet outil de recherche permettrait de simuler des scénarios d'évolution à plus long terme et de tester leur durabilité.

Références bibliographiques

Andrieu, N. (2004). Diversité du territoire de l'exploitation d'élevage et sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques: étude empirique et modélisation. Paris, thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon**:** 258.

Andrieu, N. (2006). Modélisation des systèmes de production coton-céréales-élevage en zone cotonnière du Burkina-Faso : mission exploratoire. CIRAD TERA n°75/06**:** 21.

Andrieu, N. (2008). Compte-rendu du comité de pilotage du projet Corus du 22 et 23 avril 2008. Bobo-Dioulasso, CIRAD CIRDES**:** 11.

Aubry, C., Michel-Dounias, I. (2006). Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. L'agronomie aujourd'hui. Quae**:** 57-75.

Aubry, C., Papy, F., Capillon, A. (1998). "Modelling decision-making processes for annual crop management." Agricultural Systems **56, n° 1**: 45-65.

Bara, M. (2007). Elaboration d'outils de réflexion stratégique sur les évolutions des exploitations : application à l'échelle d'une coopérative laitière dans un périmètre irrigué au Maroc, Montpellier SupAgro**:** 31.

Barbier, B., Benoît-Cattin, M. (1997). "Viabilité à moyen et long termes d'un système agraire villageois d'Afrique soudano-sahélienne. Le cas de Bala au Burkina-Faso." Economie rurale **239**: 30-39.

Berger, M., Belem, P.C., Dakouo, D., Hien, V. (1987). "Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture - élevage." Cot. Fib. Trop. **Vol XLII, fasc. 3**: 201-210.

Blanchard, M. (2005). Relations agriculture élevage en zone cotonnière : territoire de Koumbia et Waly, Burkina Faso, Université de Paris XII**:** 62.

Chia, E. (2006). Rapport de mission CIROP, terrain Ouest du Burkina-Faso : projet TERIA, concevoir de "bonnes pratiques" basées sur l'"amitié" entre l'agriculture et l'élevage. Bobo-Dioulasso, CIRAD/TERA. **n° 19/2006:** 35.

CIRAD-GRET (2002). Mémento de l'agronome.

Collectif (2006). Projet Corus : Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes de production coton-céréales-élevage en Afrique de l'Ouest, CIRDES**:** 12.

Daho, B. (2006). Dynamique des systèmes agropastoraux dans l'Ouest du Burkina Faso : cas des relations agriculture élevage dans le terroir de Kourouma, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso**:** 77.

Deveze, J. C., Halley des Fontaines, D. (2004). Le devenir des agricultures cotonnières, Cas du Burkina Faso**:** 30.

Diallo, M. A. (2006). Savoirs locaux et pratique de conduite des troupeaux au pâturage. Elaboration d'une méthode d'étude. Mémoire de DEA, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso**:** 69.

Diop, A. T., Coulibaly, A. (2002). Guide technique pour l'établissement et la gestion de cultures fourragères pour l'augmentation de la production laitière dans les zones péri-urbaines. Dakar, FAO**:** 79.

Dugué, P. (1998). "Les transferts de fertilité dus à l'élevage en zone de savane." Agriculture et développement **18**: 99-107.

Dugué, P. (1999). Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure animale : impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes. Etude de cas au Nord-Cameroun et essai de généralisation, CIRAD-TERA N°57/99, Rapport final de l'ATP Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle du terroir**:** 180.

Dugué, P., Vall, E., Lecomte, P., Klein, H.D., Rollin, D. (2004). "Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes interventions et favoriser les processus d'innovation." OCL **11 n° 4/5**: 268-276.

Faure, G. (1994). "Mécanisation et pratiques paysannes en région cotonnière au Burkina-Faso." Agriculture et développement **2**: 3-14.

Landais, E., Guérin, H. (1992). "Systèmes d'élevage et transferts de fertilités dans la zone des savanes africaines, I. La production de matières fertilisantes." Cahiers Agricultures **1**: 225-238.

Landais, E., Lhostes, P. (1990). "L'association agriculture - élevage en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain." Cahiers des Sciences Humaines **26 (1-2)**: 217-235.

Le Gal, P. Y., Dugué, P., Chia, E. (2008). Aide-mémoire de la mission d'appui au démarrage du projet CORUS « Modélisation des systèmes de production de polyculture élevage » coordonné par Cirdes URPAN. Bobo-Dioulasso, CIRAD, UMR Innovation**:** 13.

Lhostes, P. (2004). "Les relations agriculture-élevage." OCL **11 n° 4/5**: 253-255.

Schwartz, A. (1994). Pratiques paysannes et gestion de la fertilité des terres sur les exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina Faso, ORSTOM**:** 23.

Vall, E., Andrieu, N., Dugué, P. (2008). Evolutions des pratiques agropastorales et changements climatiques en zone soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest : proposition d'un modèle conceptuel de l'interaction climat-écosystème-systèmes de production agropastoraux. Changements climatiques et interactions élevage environnement en Afrique de l'Ouest. Niamey, février 2008**:** 15.

Vall, E., Dugué, P., Blanchard, M. (2006). "Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton." Cahiers Agricultures **15 n° 1**: 72-79.

Annexe 1 : Caractéristiques des 9 types d'unités de production identifiées à Koumbia (classification de Blanchard, 2005)

Type	A1 Petits Agriculteurs sans traction animale	A2 Petits Agriculteurs équipés	A3 Agriculteurs Moyens	A4 Grands Agriculteurs en voie de diversification	AE1 Petits Agro-éleveurs	AE2 Grands Agro-éleveurs	E1 Grands éleveurs peulhs	E2 Eleveurs peulhs moyens	E3 Petits éleveurs peulhs	Moyenne
UNITE DE PRODUCTION										
Ménages (u)	2	2	2	2	2	9	3	1	2	3
Bouche à nourrir (u)	7	8	13	17	21	59	25	8	9	19
Actif (u)	4	5	6	9	8	39	13	3	4	10
MATERIEL AGRICOLE										
Charrue (u)	1	1	2	2	1	4	1	1	0	1
Moyen de transport (u)	0	1	1	1	1	4	1	0	0	1
Tracteur (u)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
AGRICULTURE										
Sf Coton (ha)	1,8	3,3	5,3	7,8	3,1	21,8	0,6	0,0	0,0	4,4
Sf Maïs (ha)	0,8	1,9	3,7	4,3	2,5	11,3	2,5	1,5	1,0	3,1
Sf Sorgho (ha)	0,6	0,7	0,7	1,3	1,3	1,0	0,0	0,5	0,8	0,7
Sf arachide (ha)	0,0	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
Sf niébé (ha)	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Sole de Coton (%)	55%	52%	54%	56%	42%	63%	18%	0%	0%	51%
Sole de Maïs (%)	23%	30%	37%	31%	33%	33%	76%	50%	57%	37%
Sole de Sorgho (%)	20%	11%	7%	9%	18%	3%	0%	17%	43%	8%
Sole d'Arachide (%)	0%	2%	1%	4%	3%	0%	0%	0%	0%	1%
Sole de Niébé (%)	2%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Culture secondaire (%)	21%	17%	8%	13%	25%	4%	6%	50%	43%	12%
Sf Totale Cultivée STC (ha)	3,2	6,3	9,8	13,8	7,5	34,4	3,3	3,0	1,8	8,6
STC/actif (ha)	0,8	1,4	1,7	1,6	1,0	1,0	0,3	1,2	0,5	1,0
STC/BdT (ha)		2,9	3,2	2,4	2,0	3,5	1,9	1,5	0,8	2,5
CULTURE DU COTON										
Date de semis Coton	26/06/04	03/06/04	03/06/04	13/06/04	21/05/04	18/05/04	20/06/04	-	-	02/06/04
Rendement Coton (kg/ha)	1 203	1 133	1 591	1 629	1 718	1 759	1 100	-	-	1 468
Dépenses herbicides (Fcfa/ha)	8 000	14 715	10 117	15 559	16 177	18 600	12 667	-	-	14 211
Dépenses engrais (Fcfa/ha)	58 333	35 768	54 167	48 273	37 500	51 716	33 333	-	-	44 652
Dépenses phytosanitaires (Fcfa/ha)	38 600	25 362	41 833	37 336	32 556	36 318	25 733	-	-	33 454
Dépenses récolte (Fcfa/ha)	4 800	5 500	8 333	3 158	5 563	7 259	4 167	-	-	5 830
Marge Coton (Fcfa/ha)	134 772	155 887	219 695	237 012	268 100	250 417	146 767	-	-	207 625

Type	A1	A2	A3	A4	AE1	AE2	E1	E2	E3	Moyenne
	Petits Agriculteurs sans traction animale	Petits Agriculteurs équipés	Agriculteurs Moyens	Grands Agriculteurs en voie de diversification	Petits Agro-éleveurs	Grands Agro-éleveurs	Grands éleveurs peulhs	Eleveurs peulhs moyens	Petits éleveurs peulhs	
CULTURE DU MAÏS										
Date de semis Maïs	08/07/04	15/06/04	15/06/04	22/06/04	19/06/04	21/06/04	16/06/04	06/06/04	17/06/04	18/06/04
Production Maïs (kg)	1 200	2 280	4 433	8 500	3 575	18 367	*	*	1 000	5 295
Rendement Maïs (kg/ha)	1 800	1 260	1 283	2 086	1 329	1 633	*	*	1 017	1 418
Résidus stockés (%)	10%	41%	15%	49%	75%	12%	16%	0%	0%	21%
ELEVAGE										
Bovins femelles BF (UBT)	0	0	1	4	15	15	63	28	14	18
Bovins mâles (UBT)	0	0	3	5	12	10	47	14	4	12
Bœufs de trait BdT (UBT)	0	2	3	7	4	10	2	2	1	3
Ovins (u)	0	0	1	5	4	19	10	3	1	5
Caprins (u)	0	3	0	0	8	5	12	11	2	5
CONDUITE DE L'ELEVAGE										
Bovins en propriété (UBT)	0	2	7	15	31	36	111	43	11	32
Bovins en confiage (UBT)	0	0	0	0	0	0	1	0	7	1
Fourrage BdT (kg/UBT/an)	-	475	263	514	342	141	0	0	0	249
Tourteau de Coton BdT (kg/UBT/an)	-	63	42	85	35	30	14	16	0	39
Coût santé (Fcfa)	-	3 913	5 250	21 550	55 975	53 800	147 500	92 500	17 550	55 738
Coût santé/UBT (Fcfa/UBT)	-	1 642	1 225	1 462	1 584	1 771	1 393	2 309	989	1 494
Coût alimentation (Fcfa)	-	9 800	12 833	35 000	23 625	31 500	66 500	28 000	13 125	28 125
Coût alimentation/UBT (Fcfa/UBT)	-	4 433	1 803	2 563	1 134	808	732	1 122	1 003	1 770
Coût gardiennage (Fcfa)	-	0	8 000	0	43 000	48 000	124 000	60 000	15 000	40 444

Annexe 2 : Guide d'entretien pour les enquêtes de planification - Village de Koumbia

Date :
Nom de l'exploitant :
Ethnie :
Catégorie (A, AE, E) :
Age :

I) Historique de l'exploitation

- Date d'installation :
- Principales caractéristiques à l'installation :
  surface
  cheptel
  MO
- Dates importantes dans l'histoire de l'exploitation (modifications des surfaces, de la taille du cheptel, des ateliers, de la MO, de l'équipement, investissements…)

II) Présentation générale de l'exploitation actuelle, et de ses ressources

- Personnes vivant sur la concession

N°	Nom/prénom	Sexe	Age	Lien de parenté	Actif ?	Si oui permanent ?	Si actif, activité ppale	Activité second.
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

- Nombre total de personnes vivant sur l'exploitation (bouches à nourrir) :

- MO (nombre d'actifs travaillant à temps plein sur l'exploitation, famille + employés) :

- Employés travaillant sur l'exploitation

N°	Nom/prénom	Sexe	Age	Lien de parenté	Permanent ou saisonnier ? Durée ?	Fonction principale	Fonction secondaire
1							
2							
3							
4							
5							

- Surface totale :

Dessiner le parcellaire

- **Tableau parcellaire** à remplir en liaison avec le dessin du parcellaire

Numéro	Nom et localisation	Statut foncier	Type de sol	Présence de sous parcelles ?	Délimitation fixe ?

- Si les délimitations de parcelles ne sont pas fixes, quelle règle de délimitation ?

- Ateliers et prises de décisions
Décision : qui prend la décision ? Le responsable de la production seul, le responsable sous le contrôle du chef d'exploitation, plusieurs personnes en concertation… ?

Cultures principales		
Nature	Responsable	Décision
Cultures secondaires (des dépendants, des femmes…)		
Nature	Responsable	Décision

Troupeaux		
Nature	Responsable	Décision

- Autres activités économiques ?

Noms des Chefs de Ménage (dont le CE)	**Autre activité (non agricole rémunératrice)**

- Equipement et moyens de production

	Type	Nombre	Année d'acquisition	Etat
Bœufs de trait				
Charrue				
Sarcleur				
Butteur				
Semoir				
Matériel de production de FO (fosse, étable fum., parc…)				
Matériel de transport				

III) Analyse du système de culture

- **Rotation sur les différents champs** (différente suivant les types de sol ? la distance ?)

Compléter le schéma parcellaire (avec une couleur pour 2007 et une pour 2008)

En 2007 :

Prévision pour 2008 :

Raisons des permanences/modifications de rotation entre 2007/2008 :

- Constitution de l'assolement et rendements associés (compléter le schéma parcellaire)

		En 2007				**Prévisions pour 2008**		
Parcelle	Localisation	Culture /jachère	Surf. (ha)	Rdt	Destination	Culture /jachère	Surf. (ha)	Rdt espéré, destination

Y a-t-il des associations de cultures ?

Comment choisissez-vous les cultures et les superficies associées (vente, niveau de besoins familial et fourrager) ?

Comment affectez-vous les cultures aux différentes parcelles (type de sol, précédent cultural, délai de retour) ?

En dessous de quel prix n'est-il plus intéressant de cultiver du coton ?

Quels ajustements pouvez-vous faire au cours de la campagne en cas d'année défavorable (localisation, surface, changement de culture en dernière minute) ?

Raisons des permanences/modifications d'assolement entre 2007 et 2008 :

Présence de jachère ? Quelle surface, quelle durée, et à quelle place dans la rotation, date de remise en culture ?

Existe-t-il des réserves de terres hors assolement ?

- Gestion de la fertilisation
Pour chaque parcelle, préciser les pratiques réalisées en 2007 et celles prévues pour 2008

		Fertilisation minérale						**Fertilisation organique**			
Parcelle	**Culture**	NPK			Urée			Type : Fumier Compost Poudrette	Dose	Localisation	Fréquence date et place dans la rotation
		Nb appli	Dates	Dose	Nb appli	Dates	Dose				

- Fumure minérale :

Application systématique ou règle de décision (types de sol, précédents culturaux, état cultural, dates de semis, qualité de l'entretien, densité, conditions climatiques) ?

A partir de quel prix réduisez-vous les doses d'engrais minéraux (indication : 12 250Fcfa le sac de 50kg d'engrais en 2006/07) ?

Prix des engrais 2007 : 2008 :

- Fumure organique :

Application systématique ou règle de décision ?

Quelles sont les raisons des changements de stratégies de fertilisation entre 2007 et 2008 ?

- Production de fumure organique par le cheptel :

Type de fumure org.	Nature de biomasse (déjections, résidus, ordures…)	Qté de biomasse (nb nuitées bovins, qté résidus…)	Type de structure (Fosse, étable fumière, parc ?)	Localisation	Quand ? (calendrier de prod.)	Temps de travail nécessaire	Equipement mis en oeuvre (mat. de transport…)	MO en charge de cette production

Contrats de parcage ?

- **Itinéraires techniques (en 2007)**

Parcelle				
Culture				
Epandage Date, qté, MO, durée, matériel				
Préparation du sol Date, MO et durée, matériel				

Semis Date, MO et durée, densité				
Resemis Date, %, MO, durée, densité				
Désherbage Sarclage Désherbage Buttage				
Herbicides Spécifique, total, dose, date, matériel				
NPK Durée, MO				
Urée Durée, MO				
Traitements insecticides Nb, dose, dates				
Récolte Date, durée, coût, MO				
Devenir des résidus				
Marges ?				

Sous quelles conditions déclenchez-vous un resemis ?

Difficultés rencontrées au cours de la campagne, quels ajustements réalisés en 2007 ?

IV) Analyse du système d'élevage

- Allotement des animaux relevant de l'EA et présents sur l'EA

BdT, bovins mâles, bovins femelles, veaux, bovins d'embouche, laitières, ânes, ovins, caprins, porcins…

	En 2007		**Prévisions pour 2008**		**Devenir des déjections**
Lot	Propriété (nb)	Confiage (nb) a) confiés à l'extérieur de l'EA b) de l'extérieur confiés à l'EA	Propriété (nb)	Confiage (nb) a) confiés à l'extérieur de l'EA b) de l'extérieur confiés à l'EA	

- Affourragement en 2007

Pratique de la transhumance ? Pour quels lots d'animaux, quelle durée, quelle localisation ?

Période :

Lots	Nb.	Localisation	Affouragement		SPAI		
			Type et qté	Coût	Type et qté	Coût	

Période :

Lots	Nb.	Localisation	Affouragement		SPAI		
			Type et qté	Coût	Type et qté	Coût	

Période :

Lots	Nb.	Localisation	Affouragement		SPAI		
			Type et qté	Coût	Type et qté	Coût	

Période :

Lots	Nb.	Localisation	Affouragement		SPAI		
			Type et qté	Coût	Type et qté	Coût	

Quelles modifications d'allotement pour la saison 2008 ? Pourquoi ?

Quel plan d'alimentation aux différentes saisons pour 2008 ?

Lots	Saison pluvieuse	Saison sèche froide	Saison sèche chaude

- Productions et vente de produits animaux

Achat d'animaux en 2007 (préciser les dates : 01/01 au 31/12 ou 30/04 au 01/05 ?)

Type	Nombre	Prix	Déterminant

Vente d'animaux en 2007 (préciser les dates : 01/01 au 31/12 ou 30/04 au 01/05 ?)
animaux élevés sur l'EA, issus du troupeau, animaux achetés et embouchés, animaux de réforme…

Type	Nombre	Prix	Déterminant

Prévisions d'achats/ventes d'animaux pour 2008 ?

Type de valorisation du lait (vente ? contrat avec berger ? auto-consommation ?)

Saison	Nb de laitières	Production totale par jour	Autoconsommation	Prix du litre	Acheteur
SS froide					
SS Chaude					
Hivernage					

Prévision de valorisation du lait pour 2008 ?

BILAN : Prévisions pour la campagne 2008

Quels investissements prévus (équipement agricole, infrastructure pour la fumure organique, accroissement du troupeau, nouvel atelier), quelles grandes modifications par rapport à la campagne précédente, et pourquoi ?

Quels objectifs pour la campagne à venir ?

Quels ajustements serez-vous amené à faire en cas d'année trop sèche / trop humide ?

Annexe 3 : Fiche de suivi des exploitations agricoles

Annexe 3.1 : Extrait des fiches de suivi des activités (à remplir par le producteur)

Suivi des activités culturales (extrait)

JUIN-Danni kalo	Parcelle 1 - Foro déni 1 - **2 ha** Localisation : Ouest, sableux - Sigui yoro : Tlé béen, tièntièn Précédent : Mil (1,5ha), Sésame (0,5ha) Salo danni fèn : Biinbiri (1,5ha), Bénai (0,5ha)										Parcelle 2 - Foro déni 2 - **6 ha** Est, sableux gravillonaire - Sigui yoro : Tlé bo, tièntièn wognogo Précédent : Coton (4ha), Maïs (2ha) Salo danni fèn : Koori (4ha), Kaba (2ha)									
	Sènè Labour		**Danni folo Semis**		**Danni flana Resemis**		**T. nogo fiin NPK**		**T.nogo guè Urée**		**Sènè Labour**		**Danni folo Semis**		**Danni flana Resemis**		**T. nogo fiin NPK**		**T.nogo guè Urée**	
	Pluie ? Konlon ?	x	Type, surface Sènè sougou, foro kènè	x	Culture, surface Danni fèn,foro kènè	x	Culture, surface Danni fèn,foro kènè	x	Dose, Surface Boro da, foro kènè	x	Dose, Surface Boro da, foro kènè	x	Type, surface Sènè sougou, foro kènè	x	Culture, surface Danni fèn,foro kènè	x	Culture, surface Danni fèn,foro kènè	x	Dose, Surface Boro da, foro kènè	x	Dose, Surface Boro da, foro kènè
01/06/08																				
02/06/08																				
03/06/08																				
04/06/08																				
05/06/08																				
06/06/08																				
07/06/08																				
08/06/08																				
09/06/08																				
10/06/08																				
11/06/08																				
12/06/08																				
13/06/08																				
14/06/08																				
15/06/08																				
16/06/08																				

Suivi des activités pastorales

Lot d'animaux Béguin sougou	*Animaux en propriété* Béguin tigui				*Animaux de l'extérieur confiés à la ferme* Béguin carfaani wèrè la				*Animaux de la ferme confiés à l'extérieur* Béguin carfaani kénéma			
	Nb de têtes Béguin aké	*Localisation le jour* Sigui yoro Tléfé	*Localisation la nuit* Sigui yoro Soufè	*Devenir des déjections* Béguin boo	*Nb de têtes* Béguin aké	*Localisation le jour* Sigui yoro Tléfé	*Localisation la nuit* Sigui yoro Soufè	*Devenir des déjections* Béguin boo	*Nb de têtes* Béguin aké	*Localisation le jour* Sigui yoro Tléfé	*Localisation la nuit* Sigui yoro Soufè	*Devenir des déjections* Béguin boo

Achats d'aliments **- Doumouni sani**

Date Lon	*Type d'aliment, quantité* Doumouni sougou, Soro	*Prix* Songo

Achats d'animaux **- Béguin sani**

Date Lon	*Nb animaux* Béguin akè	*Prix* Songo	Pourquoi ?

Ventes d'animaux **- Beguin fèrè**

Date Lon	*Nb animaux* Béguin akè	*Prix* Songo	Pourquoi ?

Annexe 3.2 : Guide d'entretien pour le suivi

Fiche de suivi d'exploitation agricole : _____ Date : _____

1) Constitution de l'assolement

Par parcelle, identifier la (ou les) culture(s) mise(s) en place (et donc le nombre de sous parcelles, avec les superficies associées)
→ Comparer aux superficies annoncées, et à l'affectation prévue des cultures aux parcelles (type de sol, délai de retour, précédent cultural etc.), expliquer les différences pendant l'enquête.

Bilan de l'avancée de l'installation des cultures :

Parcelle (n°, nom)	Localisation	Type de sol	Culture(s) mise(s) en place	Surface de chaque culture installée	Commentaires
			- -	- -	
			- -	- -	
			- -	- -	
			- -	- -	
			- -	- -	
			- -	- -	

2) Gestion de l'installation des cultures

Par sous parcelle, préciser :

- la préparation du sol (type de travail du sol, matériel utilisé, nb de personnes, dates et durée)
- le semis (dates et durée, nb de personnes, matériel ?)
- s'il y a eu des resemis et à la suite de quels événements ?

Parcelle (n°, nom)	Localisation	Type de sol	Culture	Préparation du sol	Semis	Resemis	Commentaires
				Surface : Type :	Surface : Date début : Date fin :	Surface : Date début : Date fin :	
				Surface : Type :	Surface : Date début : Date fin :	Surface : Date début : Date fin :	
				Surface : Type :	Surface : Date début : Date fin :	Surface : Date début : Date fin :	
				Surface : Type :	Surface : Date début : Date fin :	Surface : Date début : Date fin :	
				Surface : Type :	Surface : Date début : Date fin :	Surface : Date début : Date fin :	

Pendant l'enquête, en déduire l'ordre des semis (une culture par rapport à l'autre ; au sein d'une même sole, une parcelle par rapport à l'autre) et définir les ordres de priorité du producteur.

Mettre en évidence les dates buttoirs à partir desquelles on peut commencer à semer, et à partir desquelles il est trop tard pour semer.

Mettre en évidence les conditions de resemis (différentes selon les cultures et les types de sol)

3) Allotement et affourragement des animaux

Hypothèse : les rations restent identiques pour toute la période de suivi, de mai à juillet
Tableau avec les différents lots annoncés et à remplir avec :

- les types de fourrages
- les quantités pour chaque fourrage

Lots	Nb en propriété	Localisation des animaux en propriété	Nb en confiage	Localisation des animaux en confiage	-Type de fourrages -Quantité /jour et /animal sur la ferme	-Type de SPAI -Quantité /jour et /animal sur la ferme	Entrées / sorties d'animaux dans le lot (dates, nb, prix, raisons)

4) Production de matière organique

Devenir des déjections nocturnes de chaque lot ?

Annexe 4 : Règles de décision des producteurs pour six composantes du fonctionnement de leur exploitation

	Coulibaly (A2)	**Bonkian (A4)**	**Ouédraogo (AE)**	**Boué (AE)**	**Diallo K. (E1)**	**Diallo A. (E2)**
	8, 25 ha	**12,5 ha**	**44 ha**	**42 ha**	**6,5 ha**	**4,5 ha**
Constitution de l'assolement						
Choix des cultures	1) Maïs (famille et vente des surplus) 2) Coton (vente) 3) Sorgho, riz, et sésame (famille)	1) Céréales (maïs, riz et sorgho) (famille et vente des surplus) 2) Coton (vente) 3) Cultures secondaires (arachide, niébé, sésame) (famille)	Pas de coton 1) Maïs (famille et vente) 2) Sorgho (famille, vente des surplus) 3) Niébé 4) Arachide et mil	1) Coton (vente) 2) Maïs (famille et vente des surplus) 3) Cultures secondaires (mil, arachide, niébé, sésame) (famille)	Pas de coton 1) Maïs et sorgho (famille) 2) Niébé et arachide (famille) 3) Cultures fourragères (troupeaux)	Pas de coton 1) Maïs (famille) 2) Sorgho (famille) 3) Mil (famille)
Surfaces allouées aux cultures	- Si prix du coton <165 Fcfa/kg et prix des engrais >13200 Fcfa/50kg, alors réduction de moitié de la surface en coton : surface alors cultivée en maïs	- Si prix du coton >145 Fcfa/kg et prix des engrais <13200 Fcfa/50kg, alors surface coton maximale (7,5ha). Sinon, comprise entre surface max et min (4ha)	- Si prix du coton <165 Fcfa/kg et prix des engrais >13200 Fcfa/kg, alors surface coton nulle.	- Si prix du coton >145 Fcfa/kg, surface coton au minimum de 16ha (S. CultSec = 3ha), et si grenier plein et bonnes conditions, au maximum 26ha (S. CultSec nulle).		
	- Quelle que soit l'année, minimum 2ha de maïs (0,2ha/bouche)	- Quelle que soit l'année, minimum 4ha de maïs (0,25ha/bouche)	- Si absence de coton, alors 50% maïs et <50% sorgho	- Quelle que soit l'année, minimum 8ha de maïs (0,2ha/bouche). - Si le grenier est vide, surface maïs peut atteindre 15ha.	Quelle que soit l'année : - 3 à 3,5ha de maïs (0,23ha/bouche) - <3ha de sorgho	Quelle que soit l'année : - 3,5ha de maïs (0,3ha/bouche) - 1ha de sorgho et mil (0,75 sorgho ; 0,25 mil)
	- Le reste de l'assolement est semé en cultures secondaires		- Le reste de l'assolement est semé en niébé, puis mil et arachide		- Le reste de l'assolement est semé en mil, niébé, arachide (~0,25ha) et en mucuna (0,25ha)	

	Coulibaly (A2)	**Bonkian (A4)**	**Ouédraogo (AE)**	**Boué (AE)**	**Diallo K. (E1)**	**Diallo A. (E2)**
Allocations des cultures aux parcelles	- Si la parcelle est en bas-fond : riz - Si la parcelle est fertile : coton et maïs - Si la parcelle est peu fertile : cultures secondaires et parfois coton	- Si la parcelle est en bas-fond : riz - Si la culture est l'arachide : sur une parcelle sableuse	- Si la parcelle lui appartient : coton, maïs, sorgho et niébé. Et si la zone est moins fertile (seuil = rendement <1t/ha de maïs) : sorgho. - Si la parcelle est empruntée : mil et arachide. Et si la zone est moins fertile : mil.	- Si la parcelle est bien fertile, semis en priorité de coton et de maïs (cultures prioritaires)	- Si la parcelle est bien fumée : semis en priorité du maïs (culture prioritaire et qui valorise bien la FO)	- Si la parcelle est bien fumée (20 charrettes de FO /ha) : semis en priorité du maïs (culture prioritaire et qui valorise bien la FO)
Installation des cultures						
Ordre des semis	1) Maïs (1ha précoce, parfois en semis direct SD) 2) Coton, jusque juillet max 3) Maïs (fin) 4) Niébé 5) Sorgho (SD) et riz en // 6) Arachide 7) Sésame - Si retard de pluie en juin, priorité du semis de coton sur maïs pour éviter semis tardif. - Si BdT malades, semis en priorité des cultures à SD (sorgho, parfois maïs et coton), pas de riz ni sésame.	Après trois bonnes pluies : 1) Coton (2ha) et maïs (2ha) 2) Coton et maïs en parallèle (fin) max jusqu'au 10/07) 3) Sorgho et riz en // max jusqu'au 10/07 4) Arachide et niébé en // jusqu'au 30/07 et 10/08 5) Sésame, mucuna - Si conditions humides, possibilité d'avancer le semis des cultures secondaires et de reculer le semis du sorgho (semis possible en sec)	<u>Si coton :</u> 1) Coton, et sorgho (SD) quand poche de sécheresse 2) Coton et sorgho en // jusqu'au 20/06 3) Maïs <u>Si pas de coton :</u> 1) Sorgho en SD de début juin au 15/07 max 2) Après mi juin et de bonnes pluies, sorgho et maïs en // (jusqu'au 01/08 max pour maïs) 3) Niébé, mil, arachide, mucuna jusqu'au 01/08 4) Sésame jusqu'au 01/08	Si grenier vide : 1) Maïs (2ha) sinon 1) coton (2ha) 2) Maïs et coton en // jusqu'au 01/07 3) Sorgho en SD parfois, et pouvant s'intercaler entre maïs et coton 4) Niébé, arachide, sésame jusqu'au 15/07 max	Si bonnes pluies après le 10/06 : 1) Sorgho, parfois en SD et jusqu'au 10/07 max 2) Maïs et mil en //, jusqu'au 15/07 max Si pas de surface labourée disponible, semis du mil sans travail du sol avant le semis du maïs conventionnel 3) Arachide et mucuna, jusqu'au 15/07 4) Niébé jusqu'au 05/08	Si bonnes pluies à partir de fin mai : 1) Maïs (2ha SD précoce) 2) A partir de fin juin, sorgho en SD, jusqu'au 30/07 max 3) Maïs (fin) 4) Mil jusqu'au 30/07 max - Si le parc mobile n'est toujours pas retiré de la parcelle, décalage dans le temps du semis de maïs pour le semer sur la zone du parc (meilleure fumure)

	Coulibaly (A2)	**Bonkian (A4)**	**Ouédraogo (AE)**	**Boué (AE)**	**Diallo K. (E1)**	**Diallo A. (E2)**
Réajustements de surface	- Si conditions d'implantation défavorables ou date ultérieure à juillet, arrêt de semis du coton et augmentation de la surface en CultSec - Si conditions d'implantation défavorables, changement de variété de maïs mais pas de réduction de surface → Par rapport aux prévisions, la surface en coton peut diminuer, mais pas celle du maïs. Celle en CultSec peut augmenter.	- Quelles que soient les conditions d'implantation, pas d'augmentation de la surface en coton (priorité du critère prix sur le climat), mais si conditions défavorables, baisse du coton et augmentation de la surface en céréales. - Si une date seuil est dépassée, arrêt du semis (même si surface semée < surface prévue) et passage au semis de la culture suivante (cycle plus court) → Par rapport aux prévisions, la surface des cultures à cycle long peut diminuer et celle des cultures à cycle court augmenter.	- Si conditions défavorables ou si BdT malades, baisse de la surface en coton et augmentation de la surface en CultSec. - Si manque d'engrais alors baisse de la surface en maïs et augmentation de la surface en Cult Sec (moins exigeantes en intrants).	- Si une date seuil est dépassée, arrêt du semis (même si surface semée < surface prévue) et passage au semis de la culture suivante (cycle plus court) → Par rapport aux prévisions, la surface des cultures à cycle long peut diminuer et celle des cultures à cycle court augmenter.	- Si conditions défavorables, alors possibilité de ne cultiver que la surface minimale en maïs et sorgho : pas de semis des CultSec (remplacées par une jachère) → L'éleveur ne prend pas le risque de semer en conditions défavorables pour ne rien récolter (orientation élevage du système) - Si retard des semis, baisse de la surface en maïs et sorgho et augmentation de la surface en CultSec à cycle court, et en CultFrg pour nourrir le troupeau	- Quelles que soient les conditions d'implantation, semis de 3,5ha de maïs
Resemis	- Si la levée a été inférieure à 25% : relabour et resemis complet - Si la levée a été comprise entre 25 et 80% : resemis pour compléter les poquets manquants - Si la levée a été supérieure à 80% : pas de resemis.					

	Coulibaly (A2)	**Bonkian (A4)**	**Ouédraogo (AE)**	**Boué (AE)**	**Diallo K. (E1)**	**Diallo A. (E2)**
Fertilisation des cultures						
Règles d'épandage des engrais minéraux et organiques	- Quelles que soient les situations, coton et maïs reçoivent 1 sac d'urée /ha. - Sur coton : si pas de problème d'appro en intrants, 3 sacs de NPK /ha, sinon 2 sacs. - Sur maïs : si assez de FO (24 char. pour 0,5ha), et pas de problème d'appro, 2 sacs de NPK /ha. Si manque de FO et pas de problème d'appro, 3 sacs de NPK /ha. Si problème d'appro, réduction d' 1 sac de NPK/ha.	- Sur coton : systématiquement 3 sacs de NPK et 1 sac d'urée /ha. - Sur maïs : si prix sac d'engrais < 15000 Fcfa, alors 3 sacs de NPK et 1 sac d'urée /ha, sinon pas d'engrais minéraux. - Sur riz : systématiquement 1 sac d'urée /ha et 1 char. de FO sur les 0,25ha cultivés (application locale). - La totalité de production de FO est épandue sur les zones les moins fertiles des soles de maïs et coton (avec priorité sur maïs)	- Sur coton : systématiquement 2 sacs de NPK et 1 sac d'urée /ha. - Sur maïs : systématiquement 0,5 sac de NPK et 0,5 sac d'urée /ha. - Sur sorgho : systématiquement 0,5 sac d'urée /ha. - Parcage des 100 bovins sur le champ semé en maïs et sorgho (nov. à avril) avec priorité sur maïs → Moins de fertilisation minérale illustrant l'orientation élevage de l'exploitation (parcage privilégié).	- Sur coton : systématiquement 3 sacs de NPK et 1 sac d'urée /ha. - Sur maïs : systématiquement 2 sacs de NPK et 1 sac d'urée /ha. - Ajout de 5 charrettes de FO (demandées au berger à qui sont confiés les animaux) sur les zones les moins fertiles du parcellaire.	- Sur maïs : systématiquement parc mobile de 30 BE de nov. à avril sur les zones les moins fertiles. Si dose de FO (application localisée) <10 char. /ha et sac de NPK <13500 Fcfa, alors 1 sac de NPK et 1 sac d'urée /ha. Sinon, 1 seul sac d'urée /ha. - Sur sorgho : systématiquement parcage de 30 BE d'avril à juin, avant les semis, sur les zones les moins fertiles.	Pas de fertilisation minérale. - Sur maïs : application localisée de la totalité du contenu de la fosse (déjections des 60 BE en hivernage), soit environ 20 charrettes. + Parc mobile de 60 BE de nov. à juin sur les zones les moins fertiles.
Allotement des animaux						
Lots d'animaux	- **BdT : 5** → Tous gardés à l'année, nuitées à la ferme en SS et au parc d'hivernage en hivernage.	- **BdT : 6+2** de l'ext - **BE : 1** - **PR : 3** (chèvres) pour la vente → Tous gardés à l'année, nuitées sous hangar près de la fosse	- **BdT : 18** - **BE : 75** (dont VL) - **VL** les plus productives : **7** - **PR : 70 + 40** → Tous gardés à l'année - **Emb : 65** sur toute l'année. Restent 3 mois chacun	- **BdT : 6** - **BE : 12** - **PR : 18** (moutons) Tous confiés au berger toute l'année mais retour des BdT sur la ferme en hivernage (mi mai à novembre)	- **BdT : 4** - **BE : 26** (+ 70 confiés au frère) (vente) - **PR : 7 + 20** (autoconsommation) → Tous gardés à l'année - **Emb : 10** (de janv. à avril, engraissés)	- **BdT : 2** - **BE : 60** (vente) - **PR : 60 + 2** (moutons+chèvres) (pour la vente) → Tous gardés toute l'année

	Coulibaly (A2)	**Bonkian (A4)**	**Ouédraogo (AE)**	**Boué (AE)**	**Diallo K. (E1)**	**Diallo A. (E2)**
Affourragement des animaux						
Rations des animaux par lot et par période	Au pâturage toute l'année + 3kg/BdT de drèches de dolo une fois /semaine En SSC : BdT reçoivent les RdC récoltés et stockés (pailles de maïs des semis tardifs + de sorgho si feuilles encore vertes) En avril : BdT reçoivent environ 2kg TdC /j et BdT	Au pâturage toute l'année En SSC : BdT + BE reçoivent les RdC stockés (récolte ~50% des pailles de maïs) En avril : BdT + BE reçoivent environ 2kg TdC /j et animal	Au pâturage toute l'année En avril : si les bovins (BdT, BE, VL) sont jugés faibles, alors ils reçoivent 2kg TdC /j et animal Emb : pendant 3 mois, ils reçoivent 4 à 5 kg TdC + 1 kg son de riz /j et Emb	Animaux confiés toute l'année et menés au pâturage par un berger Si sac de TdC <7000 Fcfa, complémentation des BdT en fin de SSC (dose ?)	Au pâturage toute l'année En mars avril : les BE+BdT reçoivent les RdC récoltés et stockés (pailles de maïs). +Si sac TdC <5000 Fcfa, 2kg /j et adulte ou 1kg /j et veau, sinon autres fourrages stockés (CultFrg ou herbes de brousse). Si manque de stock de fourrages, départ en transhumance des BE+BdT. Emb : pendant 3 mois, ils reçoivent 10kg pailles de brousse+1kg son de maïs+1kg TdC (si prix sac <5000 Fcfa) /j et Emb	Au pâturage toute l'année En SSC : les BE reçoivent les RdC stockés (récolte de ⅓ des pailles de maïs et ½ des pailles de sorgho) + complémentation des animaux les plus faibles : 2 kg TdC et 1 kg écorces de graines de coton /j et animal.
	Pour tous les producteurs, il est plus facile de déclarer la dose totale annuelle de RdC stockés ou de compléments alimentaires achetés, que de préciser la dose journalière à administrer par animal. Les doses journalières qu'ils déclarent ne correspondent d'ailleurs pas aux totaux sur l'année. Il existe donc des règles d'adaptation plus fines (à pas de temps journalier ou à l'échelle des individus, et non pas des lots entiers) pour alimenter en priorité les animaux les plus faibles aux périodes les plus critiques.					

	Coulibaly (A2)	**Bonkian (A4)**	**Ouédraogo (AE)**	**Boué (AE)**	**Diallo K. (E1)**	**Diallo A. (E2)**
Production de fumure organique						
Devenir des déjections des lots d'animaux et production de FO	Nov. à juin : nuitées des BdT à l'étable, on ramasse leurs déjections + refus de RdC en SSC Juillet à octobre : lorsque les semis sont terminés, BdT au parc d'hivernage en bord de champ, on ramasse leurs déjections à la SS suivante → **2 types de FO** : déjections de parc et litière d'étable (déjections + RdC) → Toute la FO est épandue sur maïs	Toute l'année : nuitées de tous les animaux sous le hangar et déjections descendues dans la fosse + refus des RdC en SSC + ordures ménagères → **1 type de FO** : **fumier de fosse** avec déjections, RdC et ordures → Toute la FO épandue sur la sole de maïs + coton (priorité au maïs)	Nov. à juin : parcage mobile de 100 bovins (BdT+ BE) sur les zones les moins fertiles (changement de place chaque 2 semaines) Juillet à octobre : Parc d'hivernage pour tous les animaux (1 pour BdT+Emb, 1 pour BE et 1 pour PR) → **1 type de FO : déjections de parc** apportées directement au champ en SS. Pas de fumier car parcelles trop éloignées de la concession et privilégie le parcage de grands lots	**Pas de production de FO** car animaux confiés : Demande juste 5 charrettes de déjections au berger avant les labours.	Nov. à avril : parcage mobile de 30 BE (+10 Emb de janv. à avril) sur maïs (changement chaque mois). Mai juin : parcage mobile des 30 BE sur zones pas encore semées en sorgho Juillet à octobre : parcage d'hivernage des 30 BE + 27 PR (séparés) sur une jachère → Les déjections sont ramassées et épandues avant labours suivants → **1 type de FO : déjections de parc** apportées directement au champ en SS.	Nov. à juin : parcage mobile des 60 BE sur les zones les moins fertiles du champ de case (changement chaque mois en SS puis chaque semaine s'il pleut). Juillet à octobre : parcage d'hivernage à côté d'une fosse où l'on stocke les déjections, ensuite épandues sur maïs → **1 type de FO : déjections de parc** apportées directement au champ en SS. Pas de fumier produit dans la fosse car les refus des BE sont mangés par les PR.

Annexe 5 : Equations du simulateur Excel

• Module « ressources de l'exploitation »

Variables d'entrée

- Nombre de bouches à nourrir [Nbouch] : on compte tous les adultes vivant sur la concession et nourris par les produits de l'exploitation, qu'ils soient actifs ou non (permanents ou non) ; on compte également tous les enfants, mais pas les bébés allaités par leur mère.
- Nombre d'actifs [Nact] : on compte tous les actifs travaillant en permanence sur la ferme (toute l'année et à temps plein), qu'ils soient membres de la famille ou employés de l'extérieur (berger par exemple). On ne compte pas la main d'œuvre ponctuelle telle que les employés journaliers pendant la période du désherbage ou des récoltes, ou l'aide des enfants pendant les vacances, même s'ils peuvent représenter une main d'œuvre importante. Nous faisons l'hypothèse que l'implantation des cultures (préparation du sol et semis) a lieu avec la seule main d'œuvre des actifs permanents (les enfants ne sont pas encore en vacances au moment de cette opération).
- Nombre de charrue [Nchar]
- Nombre de tracteur [Ntract]
- Capacité maximale de stockage de la fumure organique dans une fosse (en charrettes petit plateau) [StockmaxFOchar]
- Capacité maximale de stockage des résidus de culture (en charrettes petit plateau) [StockmaxRdCchar]
- Surface cultivée [Scult] : nombre d'hectares de terres disponibles et mises en cultures chaque année (faisant partie de l'assolement).

Paramètres fixes (Tableau 17)

Tableau 17 : Paramètres du module "ressources de l'exploitation"

Description du paramètre	Nom du paramètre	Unité	Valeur du paramètre	Source
Quantité annuelle d'ordures ménagères produites par personne	QordMAnPers	*en kg/an et pers.*	75	Enquêtes (estimation)
Besoins annuels en céréales pour une personne	BesCerAnPers	*en sac de 100kg /an et pers.*	250	Blanchard, M. 2005, corrigé à Koumbia
Surface journalière labourable par une paire de BdT, trois actifs et une charrue	SlabJ	*en ha /j*	0,5	Enquêtes de suivi
Surface journalière labourable par un tracteur	SlabtractJ	*en ha /j*	6	Enquêtes de suivi
Nombre de jours de labour	DurWsol	*en j*	20	Enquêtes de suivi
Poids du contenu d'une charrette petit plateau	PdsChar	*en kg*	150	Suivi à Koumbia (estimation)
Poids d'un sac de céréales	PdsSac	*en kg*	100	
Poids du contenu d'une charrette petit plateau	PdsChar	*en kg*	150	Blanchard, M. 2005 et validé à Koumbia

- La quantité annuelle d'ordures ménagères produite par personne a été très difficile à estimer et elle est donc très approximative.
- La surface journalière labourable par l'ensemble {une paire de BdT, une charrue et trois actifs} est donnée pour un labour en billons d'après les enquêtes de suivi.
- La valeur de 200 kg de céréales nécessaires par an et personne (Blanchard, M. 2005, d'après les recommandations de l'Etat Burkinabé) semble en deçà des besoins réels énoncés par les producteurs de Koumbia. Nous avons donc choisi après discussion 250 kg /an et personne.

Variables intermédiaires calculées

- Quantité annuelle d'ordures ménagères produite sur l'exploitation [QordMAnEA] :

*(E1) : [QordMAnEA] = [QordMAnPers] * [Nbouch]*

- Facteur limitant le nombre d'attelages opérationnels [LimWsol] : c'est le minimum entre le nombre de charrue, le nombre de paire de BdT, et le nombre de trinôme d'actifs (trois personnes sont nécessaires pour réaliser un labour).

(E2) : [LimWsol] = Minimum ([Nchar] ; [NBdT05]/2[8] ; [Nact]/3)

- Capacité maximale de stockage de la fumure organique dans une fosse (en kg) [StockmaxFO]

*(E3) : [StockmaxFO] = [StockmaxFOchar] * [PdsChar]*

- Capacité maximale de stockage des résidus de culture (en kg) [StockmaxRdC]

*(E4) : [StockmaxRdC] = [StockmaxRdCchar] * [PdsChar]*

Variables de sortie

- Besoins annuels en céréales pour la famille (en sac de 100 kg/an) [BesCerAnEA] :

*(E5) : [BesCerAnEA] = [Nbouch] * [BesCerAnPers] / [PdsSac]*

- Surface labourable (en ha) [Slab] :

(E6) : [Slab] = SI [Ntract] = 0, ALORS [Slab] = [LimWsol] [SlabcharJ] * [DurWsol], SINON [Slab] = [Ntract] * [SlabtractJ] * [DurWsol]*

- Surface cultivée par actif (en ha/actif) [Scultact] :

(E7) : [Scultact] = [Scult] / [Nact]

- **Module « système d'élevage »**

Variables d'entrée

Pour toutes les variables « nombre d'animaux », l'utilisateur entre l'effectif du lot à la date de début de campagne de l'année n (1er mai).
Or, au cours des enquêtes, nous avons observé une grande difficulté des éleveurs à dénombrer précisément les différentes catégories d'animaux (méconnaissance de cette information, refus de répondre, tabou ?). Les effectifs des lots des BdT et des bovins d'embouche étaient bien décrits par les producteurs mais il était particulièrement difficile d'identifier les nombres de bœufs, vaches laitières en production, vaches taries, génisses, jeunes et veaux.
Pour cette raison, et après discussions collectives avec les producteurs lors des restitutions, nous avons décidé de rendre facultative la variable d'entrée « nombre initial de vaches laitières » : soit le producteur est en mesure de l'estimer et il renseigne cette variable, soit il laisse le modèle la calculer à partir du nombre global de bovins d'élevage et de références

[8] [NBdT05] = Nombre de BdT au 1er mai, variable d'entrée du module « système d'élevage »

bibliographiques validées auprès des éleveurs au cours des restitutions. Cela dit, le pourcentage de vaches laitières parmi un troupeau de bovins que l'on a utilisé suppose une bonne stabilité entre exploitations : il serait vraisemblablement erroné dans le cas d'exploitations spécialisées lait par exemple. On conseille donc à l'utilisateur de remplir lui-même cette donnée d'entrée.

- Nombre de bœufs de trait au 1er mai [NBdT05] : nombre total des bœufs de trait utilisés pour les travaux agricoles au cours de l'hivernage, qu'ils soient présents sur la ferme ou confiés à l'extérieur pendant la saison sèche.
- Nombre de BdT achetés au cours de chaque saison [$NBdTach_i$] où i = H pour l'hivernage (1er mai – 31 octobre), F pour la saison sèche froide (1er novembre – 28 février) et C pour la saison sèche chaude (1er mars – 30 avril)
- Nombre de BdT vendus au cours de chaque saison [$NBdTvend_i$] où i = H, F, C

- Nombre global de bovins d'élevage au 1er mai [NBE05] : on compte les bœufs d'élevage, les vaches (génisses de moins de trois ans, vaches laitières mises à la reproduction, vieilles vaches) et les tous jeunes nourris par l'exploitation. On compte les animaux en propriété et les animaux de l'extérieur confiés à l'exploitant, car ces derniers consomment les fourrages de l'exploitation et produisent des déjections valorisables au même titre que les animaux en propriété. On ne compte pas les animaux confiés à l'extérieur car même s'ils représentent un capital, ils n'entrent pas dans le fonctionnement technique du système.
- Nombre global de BE achetés au cours de chaque saison [$NBEach_i$] où i = H, F, C
- Nombre global de BE vendus au cours de chaque saison [$NBEvend_i$] où i = H, F, C

- Nombre de vaches laitières au 1er mai [NVL05uti] : on compte les vaches adultes mises à la reproduction et donc potentiellement en production laitière (VL en propriété et VL de l'extérieur confiées à l'exploitant). Cette variable est facultative donc en cas de méconnaissance, l'utilisateur n'est pas obligé de la renseigner.
- Nombre de VL achetées au cours de chaque saison [$NVLach_i$] où i = H, F, C
- Nombre de VL vendues au cours de chaque saison [$NVLvend_i$] où i = H, F, C

- Nombre de petits ruminants au 1er mai [NPR05] : on compte le total de tous les ovins et tous les caprins (comme pour les bovins, on compte tous les animaux nourris par l'exploitation : en propriété ou de l'extérieur, confiés à l'exploitant).
- Nombre de petits ruminants achetés au cours de chaque saison [$NPRach_i$] où i = H, F, C
- Nombre de petits ruminants vendus au cours de chaque saison [$NPRvend_i$] où i = H, F, C

- Nombre de bovins d'embouche au 1er mai [NEmb05]
- Nombre de bovins d'embouche achetés et embouchés au cours de chaque saison [$NEmbach_i$] où i = H, F, C
- Nombre de bovins d'embouche vendus à chaque saison [$NEmbvend_i$] où i = H, F, C

Dans les situations rencontrées au cours des enquêtes, on a remarqué que l'activité d'embouche est absente en hivernage (période où les fourrages ne sont pas limitants, donc où les animaux ne sont pas maigres, et période de forte activité agricole laissant peu de place aux activités d'élevage). On pourrait donc initialiser le modèle avec [NEmb05] = [NEmbachH] = [NEmbvendH] = 0, tout en se gardant la possibilité d'une telle activité parmi la diversité des exploitations existantes.

Paramètres fixes (Tableau 18)

- Pour les paramètres relatifs à la production laitière (production journalière par vache et proportion de VL en lactation), les valeurs choisies sont basées sur les données déclarées par les producteurs enquêtés à Koumbia. La production laitière quotidienne a été validée par les femmes Peuls responsables de l'atelier lait de Koumbia. Les proportions du lot de VL effectivement traite pour chaque période [$PropVLlait_d$] où d = H, F, C ont d'abord été estimées à partir de trois cas particuliers d'exploitations enquêtées à Koumbia, puis discutées au cours des restitutions collectives. On a choisi une valeur intermédiaire par rapport aux propositions de Koumbia et Kourouma.
- Pour l'intervalle entre deux mises bas pour les petits ruminants, on a choisit une valeur de 9 mois, intermédiaire entre celle des ovins (>8 mois) et celle des caprins (<10 mois) (Sangaré, M. 2005). Cette valeur de 9 mois est également cohérente avec les résultats de (Bourzat, D., Wilson, R.T. 1989) qui trouvent des intervalles compris entre 270 et 290 jours. Enfin, le Mémento de l'agronome cite Bouchel et al. (1999) et annonce un intervalle de 9 mois également.
- Tous les paramètres relatifs à la reproduction ont été validés par un technicien spécialisé en élevage.
- Pour les besoins journaliers en UF et MAD d'une UBT de petit ruminant, on a pris la moyenne des besoins quotidiens des caprins et des ovins à l'entretien, en se basant sur le poids correspondant à 0,1 UBT, soit 25 kg : 0,49 UF par PR d'où 4,9 par UBT, et 32 g MAD par PR d'où 320 g MAD par PR.
- Les besoins journaliers en MAD d'un bovin d'élevage correspondent aux besoins d'entretien d'un individu adulte de 250 kg, à raison de 0,6 g de MAD par kg de poids vif, soit 150 g pour 1 UBT.

Variables intermédiaires calculées

- Nombre de VL au 1er mai [NVL05]

*(E8) : [NVL05] = SI [NVL05uti] = « », ALORS [NVL05] = [NBE05] * [PropVL], SINON [NVL05] = [NVL05uti]*

1) Nombre d'animaux morts à chaque période

- Taux de mortalité de l'année pour les VL, les PR et les Emb (en %) [$Txmort_{Anx}An$] où Anx = VL, PR, Emb

(E9) : [$Txmort_{Anx}An$] = SI [Clim] = « Fav », ALORS [$Txmort_{Anx}An$] = [$Txmort_{Anx}fav$], SINON SI [Clim] = « Moy », ALORS [$Txmort_{Anx}An$] = [$Txmort_{Anx}moy$], SINON [$Txmort_{Anx}An$] = [$Txmort_{Anx}dfv$]

- Taux de mortalité de l'année pour les veaux et les PR à la naissance (en %) [TxmortnatAn]

(E9) : [TxmortnatAn] = SI [Clim] = « Fav », ALORS [TxmortnatAn] = [Txmortnatfav], SINON SI [Clim] = « Moy », ALORS [TxmortnatAn] = [Txmortnatmoy], SINON [TxmortnatAn] = [Txmortnatdfv]

- Nombre de bovins (BdT et bovins d'élevage) morts au cours de chaque saison [$N_{Bov}mort_i$] où Bov = BdT, BE, VL et i = H, F, C

*(E10) : [$N_{Bov}mort_i$] = [N_{Bovd}] * [TxmortVLAn] où d = 05 si i=H, 11 si i = F, 03 si i = C*

- Nombre de PR morts au cours de chaque saison [$NPRmort_i$] où i = H, F, C

*(E11) : [$NPRmort_i$] = [NPR_d] * [TxmortPRAn] où d = 05 si i=H, 11 si i = F, 03 si i = C*

- Nombre de bovins d'embouche morts au cours de chaque saison [$NEmbmort_i$] où i = H, F, C

*(E12) : [$NEmbmort_i$] = [$NEmb_d$] * [TxmortEmbAn] où d = 05 si i=H, 11 si i = F, 03 si i = C*

Tableau 18 : Paramètres du module "systèmes d'élevage"

Description du paramètre		Nom du paramètre	Unité	Valeur du paramètre	Source
Effectif	Proportion de vaches mises à la reproduction au sein du troupeau de BE	PropVL	*en %*	40,0%	(IEMVT 1988). Validation lors des restitutions, pour une EA moyenne
UBT	Nombre d'UBT d'un BdT	NUBT1BdT	*en UBT*	1,2	
	Nombre d'UBT d'un BE moyen	NUBT1BE	*en UBT*	0,8	(IEMVT 1988)
	Nombre d'UBT d'une VL	NUBT1VL	*en UBT*	1	
	Nombre d'UBT d'un PR moyen	NUBT1PR	*en UBT*	0,1	(IEMVT 1988)
	Nombre d'UBT d'un bovin d'embouche au moment de la vente	NUBT1Emb	*en UBT*	1,2	
Taux de mortalité pour une année favorable	Taux de mortalité des VL (bovins adultes)	TxmortVLfav	*en %*	2,0%	
	Taux de mortalité des PR	TxmortPRfav	*en %*	2,0%	
	Taux de mortalité des bovins d'embouche	TxmortEmbfav	*en %*	1,5%	
	Taux de mortalité des veaux à la naissance	Txmortnatfav	*en %*	10,0%	
Taux de mortalité pour une année moyenne	Taux de mortalité des VL (bovins adultes)	TxmortVLmoy	*en %*	3,0%	
	Taux de mortalité des PR	TxmortPRmoy	*en %*	3,0%	
	Taux de mortalité des bovins d'embouche	TxmortEmbmoy	*en %*	2,0%	
	Taux de mortalité des veaux à la naissance	Txmortnatmoy	*en %*	15,0%	
Taux de mortalité pour une année dé-favorable	Taux de mortalité des VL (bovins adultes)	TxmortVLdfv	*en %*	4,0%	(IEMVT 1988)
	Taux de mortalité des PR	TxmortPRdfv	*en %*	4,0%	(IEMVT 1988)
	Taux de mortalité des bovins d'embouche	TxmortEmbdfv	*en %*	2,5%	(IEMVT 1988)
	Taux de mortalité des veaux à la naissance	Txmortnatdfv	*en %*	25,0%	(IEMVT 1988)
Production laitière	Production quotidienne de lait par vache pendant l'hivernage	Prodlait1VLJH	*en L /j*	1	Enquêtes à Koumbia, et validation par les femmes Peuls (atelier lait)
	Production quotidienne de lait par vache pendant la SSF	Prodlait1VLJF	*en L /j*	1	Enquêtes à Koumbia, et validation par les femmes Peuls (atelier lait)
	Production quotidienne de lait par vache pendant la SSC	Prodlait1VLJC	*en L /j*	0,5	Enquêtes à Koumbia, et validation par les femmes Peuls (atelier lait)
	Proportion de VL en lactation en hivernage	PropVLlaitH	*en %*	40%	Enquêtes à Koumbia

	Proportion de VL en lactation en SSF	PropVLlaitF	*en %*	25%	Enquêtes à Koumbia
	Proportion de VL en lactation en SSC	PropVLlaitC	*en %*	10%	Enquêtes à Koumbia
Déjections	Quantité de déjections produites par nuitée et par UBT	QDejNuitUBT	*en kg MS*	1,4	Blanchard, M. 2005
Reproduction	Intervalle vêlage vêlage des vaches	IVVVL	*en année*	1,5	(IEMVT 1988)
	Intervalle entre deux mises bas chez les PR	IVVPR	*en année*	0,75	(Sangaré, M. 2005)
	Taux de fertilité des petits ruminants	TxfertiPR		1,1	Moyenne entre 100% (ovins) et 120% (caprins) (IEMVT 1988)
Nombre de jours des saisons	Nombre de jours de l'hivernage	NjourH		184	
	Nombre de jours de la SSF	NjourF		120	
	Nombre de jours de la SSC	NjourC		61	
Besoins en UF	Besoins journaliers en UF d'un bovin d'élevage	BesUF1BEJ	*en UF/j et UBT*	2,3	Besoins d'entretien d'un BE adulte (Centre-Agro-Entreprise 2000)
	Besoins journaliers en UF d'un BdT	BesUF1BdTJ	*en UF/j et UBT*	2,3	Idem qu'un BE adulte en SSC (travaux de traction terminés)
	Besoins journaliers en UF supplémentaires pour la production d'un litre de lait par jour	BesUF1Llait	*en UF/j et L*	0,4	(Centre-Agro-Entreprise 2000)
	Besoins journaliers en UF d'un petit ruminant	BesUF1PRJ	*en UF/j et UBT*	4,9	(CIRAD-GRET 2002)
	Besoins journaliers en UF supplémentaires pour l'engraissement d'un bovin d'embouche	BesUFengrJ	*en UF/j*	3,0	(Centre-Agro-Entreprise 2000)
Besoins en MAD	Besoins journaliers en MAD d'un BE	BesMAD1BEJ	*en g MAD/j et*	150,0	(Centre-Agro-Entreprise 2000)
	Besoins journaliers en MAD d'un BdT	BesMAD1BdTJ	*en g MAD/j et UBT*	150	Idem qu'un BE adulte en SSC (travaux de tractions terminés)
	Besoins journaliers en MAD supplémentaires pour la production d'un litre de lait par jour	BesMAD1Llait	*en g MAD/j et L*	60	(Centre-Agro-Entreprise 2000)
	Besoins journaliers en MAD d'un petit ruminant	BesMAD1PRJ	*en g MAD/j et UBT*	320	(CIRAD-GRET 2002)
	Besoins journaliers en MAD supplémentaires pour l'engraissement d'un bovin d'embouche	BesMADengrJ	*en g MAD/j*	335	(Centre-Agro-Entreprise 2000)

2) Effectifs initiaux des lots d'animaux

Si l'utilisateur n'a pas rempli la donnée d'entrée « nombre initial de VL », on l'estime automatiquement en comptant les vaches laitières mises à la reproduction (et donc potentiellement en production au cours de la campagne) au sein du troupeau de BE. Les autres vaches (non mises à la reproduction) sont comptées dans la catégorie BE. On calcule donc l'effectif en fonction de la proportion de VL mises à la reproduction au sein du lot BE [PropVL].

- Nombre de VL au 1er mai [NVL05]

*(E13) : [NVL05] = [NBE05] * [PropVL]*

- Nombre de VL achetées au cours de chaque saison [$NVLach_i$] où i = H, F, C

*(E14) : [$NVLach_i$] = [$NBEach_i$] * [PropVL]*

- Nombre de VL vendues au cours de chaque saison [$NVLvend_i$] où i = H, F, C

*(E15) : [$NVLvend_i$] = [$NBEvend_i$] * [PropVL]*

A partir des calculs d'effectifs de VL, on recalcule les effectifs du lot de bovins d'élevage non plus global, mais restreint c'est-à-dire auquel on a retranché le nombre de VL mises à la reproduction.

- Nombre restreint de bovins d'élevage au 1er mai [NBER05]

(E16) : [NBER05] = [NBE05] – [NVL05]

- Nombre restreint de BE achetés au cours de chaque saison [$NBERach_i$] où i = H, F, C

(E17) : [$NBERach_i$] = [$NBEach_i$] – [$NVLach_i$]

- Nombre restreint de BE vendus au cours de chaque saison [$NBERvend_i$] où i = H, F, C

(E18) : [$NBERvend_i$] = [$NBEvend_i$] – [$NVLvend_i$]

- Nombre restreint de BE morts au cours de chaque saison [$NBERmort_i$] où i = H, F, C

(E19) : [$NBERmort_i$] = [$NBEmort_i$] – [$NVLmort_i$]

3) Effectifs des lots d'animaux aux différentes périodes

Connaissant les effectifs initiaux de chaque lot, et connaissant les entrées (achats) / sorties (ventes, décès) à chaque période, on calcule les effectifs intermédiaires de chaque lot au 1er novembre (début de SSF) et au 1er mars (début de SSC).

- Effectif de chaque lot (excepté celui des bovins d'embouche) au 1er novembre [$N_{Ax}11$] où Ax = BdT, BE, BER, VL, PR :

(E20) : [$N_{Ax}11$] = [$N_{Ax}05$] + [$N_{Ax}achH$] – [$N_{Ax}vendH$] – [$N_{Ax}mortH$]

- Effectif de chaque lot (excepté celui des bovins d'embouche) au 1er mars [$N_{Ax}03$] où Ax = BdT, BE, BER, VL, PR :

(E21) : [$N_{Ax}03$] = [$N_{Ax}11$] + [$N_{Ax}achF$] – [$N_{Ax}vendF$] – [$N_{Ax}mortF$]

- Nombre de bovins d'embouche au 1er novembre [NEmb11] :

(E22) [NEmb11] = [NEmb05] + [NEmbachH] – [NEmbvendH] – [NembmortH] + [NEmbachF]

- Nombre de bovins d'embouche au 1er mars [NEmb03] :

(E23) : [NEmb03] = [NEmb11] + [NEmbachC] – [NEmbvendF] – [NEmbmortF]

4) Nombre d'UBT par lot aux différentes périodes

- Nombre d'UBT de chaque lot et à chaque période [UBT_{Anxd}] où Anx = BdT, BER, VL, PR, Emb et d = 05 ; 11 ; 03

$$(E24) : [UBT_{Anxd}] = [N_{Anxd}] * [NUBT1_{Anx}]$$

- Nombre d'UBT total sur l'exploitation à chaque période [$UBTtot_d$] où d = 05 ; 11 ; 03

$$(E25)\ [UBTtot_d] = \Sigma_{Anx}\ [UBT_{Anx,d}] où\ Anx = BdT, BER, VL, PR, Emb$$

5) Besoins quotidiens fourragers de chaque type d'animal pour la saison sèche chaude

On cherche le nombre d'unités fourragères (UF) et la quantité de matières azotées digestibles (MAD) nécessaires par jour et par type d'animal.

- Besoins journaliers en UF et MAD d'une VL (en UF ou g MAD/j et UBT) [BesUF1VLJ] ou [BesMAD1VLJ]

En SSC, la production laitière journalière et par vache lors de la traite est comprise entre 0 et 1L dans les exploitations enquêtées. Mais ceci ne correspond qu'à la production de lait traite, et est sous estimée par rapport à la production de lait totale (et en partie consommée par les veaux).

Or, dans ce lot, on a toutes les VL mises à la reproduction durant la campagne. Comme les vêlages ne sont absolument pas groupés, au moment de la SSC, toutes les VL ne seront donc pas en lactation. Ainsi, toutes les VL n'ont pas des besoins fourragers supplémentaires liés à la lactation. On fait donc l'hypothèse que la sous-estimation de la production journalière de lait compense la surestimation globale des besoins fourragers du lot, et on estime les besoins journaliers en UF et MAD pour une VL à ceux d'une VL assurant une production de Prodlait1VLC = 0,5 L/jour.

$$(E26) : [BesUF1VLJ] = [BesUF1BEJ] + [Prodlait1VLJC] * [BesUF1Llait]$$

$$(E27) : [BesMAD1VLJ] = [BesMAD1BEJ] + [Prodlait1VLJC] * [BesMAD1Llait]$$

- Besoins journaliers en UF et MAD d'un bovin d'embouche (en UF et g MAD/j et UBT) [BesUF1EmbJ] et [BesMAD1EmbJ]

$$(E28) : [BesUF1EmbJ] = [BesUF1BEJ] + [BesUFengrJ]$$

$$(E29) : [BesMAD1EmbJ] = [BesMAD1BEJ] + [BesMADengrJ]$$

6) Besoins quotidiens fourragers de chaque lot pour la saison sèche chaude

Les besoins journaliers en UF et MAD de chaque type d'animal servent à calculer les besoins journaliers en UF et MAD de l'ensemble du lot.

- Besoins journaliers en UF de tous les lots en SSC (en UF/j) [$BesUF_{Anx}J$] où Anx = BdT, BER, VL, PR, Emb

$$(E30) : [BesUF_{Anx}J] = [BesUF1_{Anx}J] * [UBT_{Anx}03]$$

- Besoins journaliers en UF de tous les lots en SSC (en UF/j) [BesUFtotJ]

$$(E31) : [BesUFtotJ] = \Sigma_{Anx}\ [BesUF_{Anx,}J]\ où\ Anx = BdT, BER, VL, PR, Emb$$

- Besoins journaliers en MAD de tous les lots en SSC (en g MAD/j) [$BesMAD_{Anx}J$] où Anx = BdT, BER, VL, PR, Emb

$$(E32) : [BesMAD_{Anx}J] = [BesMAD1_{Anx}J] * [UBT_{Anx}03]$$

- Besoins journaliers en MAD de tous les lots en SSC (en g MAD/j) [BesMADtotJ]

$$(E33) : [BesMADtotJ] = \Sigma_{Anx}\ [BesMAD_{Anx}J]\ où\ Anx = BdT, BER, VL, PR, Emb$$

Variables de sortie

1) Nombre d'animaux produits théoriquement par l'exploitation pendant toute la durée de la campagne

La reproduction n'a lieu que dans les lots VL et PR car dans les lots BdT et embouche, il n'y a pas de femelles et dans le lot des bœufs d'élevage restreints les femelles ne sont pas mises à la reproduction.

- Nombre de bovins produits [ProdveauxAn]

Pour connaître le nombre de veaux produits par an sur l'exploitation, il faut connaître : le taux de fertilité des vaches [TxfertiVL], l'intervalle vêlage vêlage [IVVVL], et le taux de mortalité des veaux à la naissance [Txmortnat] (cf. définition des paramètres).

*(E34) : [ProdveauxAn] = SI NVLfin < 1, ALORS [ProdveauxAn] = 0, SINON [ProdveauxAn] = (([NVL05] + [NVL11] + [NVL03])/3) * (1-[Txmortnat]) * 1/[IVVVL]*

- Nombre de petits ruminants produits [ProdPRAn]

On a besoin d'estimer le nombre de femelles aptes à se reproduire au sein du troupeau : faute de meilleure référence, on garde la valeur connue de 40% utilisée chez les bovins [PropVL] (IEMVT 1988). Le calcul est de la même forme que précédemment :

*(E35) : [ProdPRAn] = SI NPR03 < 1, ALORS [ProdPRAn] = 0, SINON [ProdPRAn] = (([NPR05] + [NPR11] + [NPR03]) * [PropVL] / 3) * [TxfertiPR] * 1 / [IVVPR]*

Remarque : pour cette dernière variable de sortie, on a considéré dans le calcul le taux de fécondité des reproductrices, qui est le rapport du nombre de petits nés vivants au cours de l'année sur le nombre moyen de femelles mises à la reproduction (Sangaré, M. 2005).
Ces deux dernières équations ont été corrigées par un technicien spécialisé après les écarts constatés entre les valeurs simulées et les valeurs réelles dans les exploitations enquêtées.

2) Effectif de chaque lot à la fin de la campagne (1er mai de l'année n+1)

- Nombre de BdT à la fin de la campagne [NBdTfin]

(E36) : [NBdTfin] = [NBdT03] + [NBdTachC] – [NBdTvendC] – [NBdTmortC]

- Nombre de BER à la fin de la campagne [NBERfin]

(E37) : [NBERfin] = [NBER03] + [NBERachC] + [ProdveauxAn] – [NBERvendC] – [NBERmortC]

- Nombre de VL à la fin de la campagne [NVLfin]

(E38) : [NVLfin] = SI [NVL03] < 1, ALORS [NVLfin] = 0, SINON [NVLfin] = [NVL03] + [NVLachC] – [NVLvendC] – [NVLmortC]

- Nombre de BE total à la fin de la campagne [NBEfin]

(E39) : [NBEfin] = [NBERfin] + [NVLfin]

- Nombre de petits ruminants à la fin de la campagne [NPRfin]

(E40) : [NPRfin] = SI [NPR03] < 1, ALORS [NPRfin] = 0, SINON [NPRfin] = [NPR03] + [NPRachC] + [ProdPRAn] – [NPRvendC] – [NPRmortC]

- Nombre de bovins d'embouche à la fin de la campagne [Nembfin]

(E41) : [NEmbfin] = [NEmb03] – [NEmbvendC] – [NEmbmortC]

3) Production laitière

On ne considère ici que la production destinée à l'autoconsommation familiale ou à la vente, et on ne compte pas la production consommée par les veaux. En revanche, la production de

lait pour les veaux engendre des besoins fourragers supplémentaires partiellement pris en compte dans le calcul des besoins fourragers (cf. variables intermédiaires).
- Production laitière pour chaque saison [$Prodlait_d$] où d = H, F, C

*(E42) : [$Prodlait_d$] = SI [NVL_d] < 1, ALORS [$Prodlait_d$] = 0, SINON [$Prodlait_d$] = [$Prodlait1VLJ_d$] * [$PropVLlait_d$] * [NVL_d] * [$Njour_d$]*

- Production laitière annuelle totale [ProdlaitAn] :

(E43) : [ProdlaitAn] = Σ_d [$Prodlait_d$] où d = H, F, C

4) Quantité potentielle de déjections produites

On calcule ici la quantité totale de déjections produites par tous les lots d'animaux. C'est la quantité de déjections potentiellement valorisable par l'exploitant (en théorie). En pratique, non seulement il existe des pertes de FO (piétinement etc.), mais aussi le producteur ne récupère pas forcément les déjections de tous les lots dans la mesure où ceux-ci ne sont pas nécessairement parqués sur les parcelles cultivées ou près d'une fosse : la quantité réelle de déjections produites est calculée dans le module « production de fumure organique ».

- Quantité potentielle de déjections produites pour chaque saison [$QDejpot_d$] où d = H, F, C

*(E44) : [$QDejpot_d$] = [QDejNuitUBT] * [$UBTtot_d$] * [$Njour_d$] où d = H, F, C*

- Quantité potentielle de déjections produites pour toute l'année [QDejpotAn]

(E45) : [QDejpotAn] = Σ_d [$QDejpot_d$] où d = H, F, C

• Module « système de cultures »

Variables d'entrée
- Surface en coton (en ha) [Scoton]
- Surface en maïs (en ha) [Smais]
- Surface en sorgho (en ha) [Ssorgho]
- Surface en cultures secondaires (en ha) [SCultSec] : on compte toutes les surfaces cultivées en mil, riz, arachide, niébé et sésame.
- Surface en cultures fourragères (en ha) [SCultFrg] : on compte toutes les surfaces cultivées en plantes fourragères (mucuna, niébé fourrager etc.).

- Proportion de résidus de maïs récoltés (en %) [PropRecmais]
- Proportion de résidus de sorgho récoltés (en %) [PropRecsorgho]
- Proportion de résidus de cultures secondaires récoltés (en %) [PropRecCultSec]

Pour ces trois proportions, choisir entre : 0, 25, 50, 75 et 100 %.

Paramètres fixes (Tableau 19)

1) Exportations en éléments minéraux des cultures par tonne produite

- Les tiges de coton n'étant pas récoltées mais le plus souvent brûlées, le coton n'exporte pas le P et le K des tiges, mais seulement le N (détruit par le feu) (Dugué, P. 1999). Les besoins en N du cotonnier sont donc ceux des graines plus des tiges (de 22,5 + 13,7 = 36,2 kg N /t coton produit), alors que les besoins en P et K se limitent aux besoins liés à la production des graines (respectivement 8,2 et 11,7 kg) (Piéri, C. 1989).

- Pour le maïs, on fait l'hypothèse que 90 % des pailles sont exportées (vaine pâture, récolte pour le stockage et l'affourragement ou autres usages), ce qui correspond aux travaux de Boro (2000) cité par (Semporé, A. 2008). Ainsi, les besoins minéraux du maïs correspondent à ceux des exportations par 100 % des graines et 90 % des pailles.
- Pour le sorgho, on fait l'hypothèse que 33 % des pailles sont exportées (vaine pâture, récolte) puis que le reste des pailles est brûlé (Dugué, P. Comm. pers.). Les exportations de N du sorgho sont donc totales (graines et 100 % des résidus puisque le feu détruit le N), alors que pour le P et le K, elles ne concernent que les graines et un tiers des résidus.
- Pour les cultures secondaires, on considère que 100 % des fanes sont exportées, ce qui concorde avec les résultats de Boro (2000) cité par (Semporé, A. 2008). On calcule donc les exportations à partir des exportations totales des graines et des pailles, auxquelles on retranche l'apport d'azote par fixation symbiotique, de l'ordre de 40 kg N/ha (Piéri, C. 1989).
- Pour les cultures fourragères, représentées par le niébé fourrager, on prend les mêmes valeurs que pour les cultures secondaires.

2) Rendements moyens des cultures sur 6 ans (1996-2006) dans la région des Hauts-Bassins (DRAHRH, 2008)

Nous avons considéré les rendements moyens (grains) des cultures pour la région des Hauts-Bassins : le rendement moyen du sorgho fait la moyenne des rendements en sorghos blanc et rouge ; le rendement moyen des cultures secondaires fait la moyenne entre les rendements de mil, riz pluvial, arachide, sésame et niébé.
Notons que le rendement moyen en cultures fourragères (estimé à 1,5 t MS/ha pour le niébé fourrager) pourrait être plus élevé si on considérait le mucuna.
Ces rendements moyens régionaux serviront à calculer les exportations à l'hectare (car ils sont donnés pour l'instant à la tonne de produit).

3) Rendements grains des cultures pour différents scénarios climatiques

Pour les rendements grains, on choisit de les fixer comme paramètres en fonction des trois scénarios climatiques définis au départ (favorable, moyen et défavorable). Pour cela on s'appuie sur l'ordre de grandeur des rendements moyens de la province du Tuy pour les années considérées comme type (données DRAHRH, 2008).
Puis, au cours des restitutions, ces ordres de grandeur ont été corrigés à dire d'experts (paysans) à Koumbia comme à Kourouma. Puisque les rendements identifiés varient d'un village à l'autre, notamment en raison de la différence de type de sol, on a intégré dans le modèle deux gammes de rendements : d'une part ceux de Koumbia, représentatifs de sols sableux peu favorables, et d'autre part ceux de Kourouma, représentatifs de sols argileux plus favorables. L'utilisateur doit donc choisir dans le paramétrage soit la gamme de Koumbia, soit la gamme de Kourouma.

Variables intermédiaires calculées

1) Besoins en éléments minéraux des cultures par hectare

En l'absence d'autres données, on fait l'hypothèse simplificatrice que l'on peut obtenir les besoins en éléments minéraux des cultures par hectare par une règle de proportionnalité à partir des besoins minéraux par tonne de production et des rendements moyens (approximation grossière mais qui donne un ordre de grandeur).

Tableau 19: Paramètres du module "systèmes de culture"

Description du paramètre		Nom du paramètre	Unité	Valeur du paramètre	Source
Besoins en N à la tonne	Besoins en N du coton	BesNcotonT	*en kg N/t*	36,2	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en N du maïs	BesNmaisT	*en kg N/t*	29,5	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en N du sorgho	BesNsorghoT	*en kg N/t*	33,1	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en N des cultures secondaires	BesNCultSecT	*en kg N/t*	17	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en N des cultures fourragères	BesNCultFrgT	*en kg N/t*	17	
Besoins en P à la tonne	Besoins en P du coton	BesPcotonT	*en kg P/t*	8,2	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en P du maïs	BesPmaisT	*en kg P/t*	8,3	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en P du sorgho	BesPsorghoT	*en kg P/t*	12,9	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en P des cultures secondaires	BesPCultSecT	*en kg P/t*	9,6	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en P des cultures fourragères	BesPCultFrgT	*en kg P/t*	9,6	
Besoins en K à la tonne	Besoins en K du coton	BesKcotonT	*en kg K/t*	11,7	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en K du maïs	BesKmaisT	*en kg K/t*	32,1	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en K du sorgho	BesKsorghoT	*en kg K/t*	39,2	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en K des cultures secondaires	BesKCultSecT	*en kg K/t*	28,9	(Piéri, C. 1989)
	Besoins en K des cultures fourragères	BesKCultFrgT	*en kg K/t*	28,9	
	Proportion de pailles de cultures fourragères récoltées	PropRecCultFrg	*en %*	100%	
Rendements moyens de la région des HB (2001-2006)	Rendement moyen du coton	Rdtmoycoton	*en t/ha*	1,146	DRAHRH, 2008
	Rendement moyen du maïs	Rdtmoymais	*en t/ha*	1,865	DRAHRH, 2008
	Rendement moyen du sorgho	Rdtmoysorgho	*en t/ha*	1,055	DRAHRH, 2008
	Rendement moyen des cultures secondaires	RdtmoyCultSec	*en t/ha*	1,102	DRAHRH, 2008
	Rendement moyen des cultures fourragères	RdtmoyCultFrg	*en t/ha*	1,5	DRAHRH, 2008
Rendements grain année favorable (type 2004)	Rendement grains du coton	RdtGcotonFav	*en kg/ha*	1500 1800	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains du maïs	RdtGmaisFav	*en kg/ha*	3000 3700	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains du sorgho	RdtGsorghoFav	*en kg/ha*	1500 1000	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains des cultures secondaires	RdtGCultSecFav	*en kg/ha*	1000	A dire d'experts, Koumbia

				1000	A dire d'experts, Kourouma
Rendements grain année moyenne (type 2006)	Rendement grains du coton	RdtGcotonMoy	*en kg/ha*	1000 1000	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains du maïs	RdtGmaisMoy	*en kg/ha*	2000 2600	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains du sorgho	RdtGsorghoMoy	*en kg/ha*	1000 700	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains des cultures secondaires	RdtGCultSecMoy	*en kg/ha*	700 700	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
Rendements grain année défavorable (type 2007)	Rendement grains du coton	RdtGcotonDfv	*en kg/ha*	800 800	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains du maïs	RdtGmaisDfv	*en kg/ha*	900 1000	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains du sorgho	RdtGsorghoDfv	*en kg/ha*	500 300	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
	Rendement grains des cultures secondaires	RdtGCultSecDfv	*en kg/ha*	300 300	A dire d'experts, Koumbia A dire d'experts, Kourouma
Rendements paille année favorable (type 2004)	Rendement pailles des cultures secondaires	RdtPCultSecFav	*en kg/ha*	1850	
	Rendement pailles des cultures fourragères	RdtPCultFrgFav	*en kg/ha*	4000	
Rendements paille année moyenne (type 2006)	Rendement pailles des cultures secondaires	RdtPCultSecMoy	*en kg/ha*	1250	(IEMVT 1988)
	Rendement pailles des cultures fourragères	RdtPCultFrgMoy	*en kg/ha*	3000	
Rendements paille année défavorable (type 2007)	Rendement pailles des cultures secondaires	RdtPCultSecDfv	*en kg/ha*	700	
	Rendement pailles des cultures fourragères	RdtPCultFrgDfv	*en kg/ha*	2000	(Diop, A. T., Coulibaly, A. 2002)
	Rapport Pailles/Grains du maïs	RapPGmais		1,35	Dugué, P. Comm. pers.
	Rapport Pailles/Grains du sorgho	RapPGsorgho		4	(Piéri, C. 1989)

- Besoins en éléments minéraux des différentes cultures par hectare (en kg N, P ou K/ha) [Bes_{ECult}ha] où E = N, P ou K et où Cult = coton, mais, sorgho, CultSec ou CultFrg

*(E 46) : [Bes_{ECult}ha] = [Bes_{ECult}T] * [$Rdtmoy_{Cult}$]*

2) Rendements des cultures pour l'année simulée

- Rendement grains du coton, du maïs, du sorgho et des cultures secondaires pour l'année simulée (en kg) [$RdtG_{Cultg}$An] où Cultg = coton, mais, sorgho, CultSec

(E47) : [$RdtG_{Cultg}$An] = SI [Clim]=Fav, ALORS [$RdtG_{Cultg}$An] = [$RdtG_{Cultg}$Fav], SINON SI [Clim]=Moy, ALORS [$RdtG_{Cultg}$An] = [$RdtG_{Cultg}$Moy], SINON [$RdtG_{Cultg}$An] = [$RdtG_{Cultg}$Dfv]

- Rendements en pailles du maïs et du sorgho pour les trois types d'années climatiques (en kg) [$RdtP_{CerClim}$] où Cer = mais ou sorgho et Clim = Fav, Moy ou Dfv

*(E 48) : [$RdtP_{CerClim}$] = [$RdtG_{CerClim}$] * [$RapPG_{Cer}$]*

- Rendement en pailles du maïs, du sorgho, des cultures secondaires et des cultures fourragères pour l'année simulée (en kg) [$RdtP_{Cultp}$An] où Cultp = mais, sorgho, CultSec et CultFrg

(E49) : [$RdtP_{Cultp}$An] = SI [Clim]=Fav, ALORS [$RdtP_{Cultp}$An] = [$RdtP_{Cultp}$Fav], SINON SI [Clim]=Moy, ALORS [$RdtP_{Cultp}$An] = [$RdtP_{Cultp}$Moy], SINON [$RdtP_{Cultp}$An] = [$RdtP_{Cultp}$Dfv]

Variables de sortie

- Récolte grains du coton, du maïs, du sorgho et des cultures secondaires (en nombre de sacs) [$RecG_{Cultg}$] où Cultg = coton, mais, sorgho, CultSec

*(E50) : [$RecG_{Cultg}$] = [S_{Cultg}] * [$RdtG_{Cultg}$An] / [PdsSac]*

- Stock de céréales (en nombre de sacs) [StockCer]

(E51) : [StockCer] = [RecGmais] + [RecGsorgho]

- Stock total alimentaire (en nombre de sacs) [StockAlim]

(E52) : [StockAlim] = [RecGCultSec] + [StockCer]

- Bilan céréalier (en nombre de sacs) [BilanCer]

(E53) : [BilanCer] = [StockCer] - [BesCerAnEA]

Ce bilan permet de connaître la quantité de céréales « excédentaire » (celle qui reste une fois que les besoins alimentaires annuels sont couverts), potentiellement vendable ou stockable dans un grenier. Notons que d'après les enquêtes, les agriculteurs consomment en priorité le sorgho et vendent en priorité le maïs.

- Récolte de pailles de maïs, sorgho, cultures secondaires et cultures fourragères (en kg) [$RecP_{Cultp}$] où Cultp = mais, sorgho, CultSec, CultFrg

*(E54) : [$RecP_{Cultp}$] = [S_{Cultp}] * [$RdtP_{Cultp}$ An] * [$PropRec_{Cultp}$]*

- Stock de pailles de cultures fourragères (en kg) [StockResCultFrg]

(E55) : [StockResCultFrg] = SI [RecPmais] + [RecPsorgho] + [RecPCultSec] + [RecPCultFrg] < [StockmaxRdC], ALORS [StockResCultFrg] = [RecPCultFrg], SINON [StockResCultFrg] = MAX (0 ; MIN ([StockmaxRdC] ; [RecPCultFrg]))

- Stock de pailles de maïs (en kg) [StockResMais]

(E56) : [StockResMais] = SI [RecPmais] + [RecPsorgho] + [RecPCultSec] + [RecPCultFrg] < [StockmaxRdC], ALORS [StockResMais] = [RecPmais], SINON [StockResMais] = MAX (0 ; MIN ([StockmaxRdC] – [RecPCultFrg] ; [RecPmais]))

- Stock de pailles de cultures secondaires (en kg) [StockResCultSec]

(E57) : [StockResCultSec] = SI [RecPmais] + [RecPsorgho] + [RecPCultSec] + [RecPCultFrg] < [StockmaxRdC], ALORS [StockResCultSec] = [RecPCultSec], SINON [StockResMais] = MAX (0 ; MIN ([StockmaxRdC] - [RecPCultFrg]- [RecPmais] ; [RecPCultSec]))

- Stock de pailles de sorgho (en kg) [StockResSorgho]

(E58) [StockResSorgho] = SI [RecPmais] + [RecPsorgho] + [RecPCultSec] + [RecPCultFrg] < [StockmaxRdC], ALORS [StockResSorgho] = [RecPsorgho], SINON [StockResSorgho] = MAX (0 ; [StockmaxRdC] - [RecPCultFrg]- [RecPmais]- [RecPCultSec])

On a ici fait l'hypothèse, d'après les pratiques identifiées au cours des enquêtes, que l'ordre de priorité de stockage des résidus est le suivant : (1) cultures fourragères, (2) maïs, (3) fanes de niébé, (4) sorgho. Cette hypothèse a été validée par les producteurs de Koumbia mais par ceux de Kourouma qui déclarent placer les pailles de maïs en dernier en raison de leur difficulté de conservation et préférer les pailles de sorgho. Malgré cette exception, on garde l'ordre proposé et validé à Koumbia.
Toutes les variables [$RecP_{Cultp}$] et [$StockRes_{Cultp}$] où Cultp = mais, sorgho, CultSec et CultFrg sont également exprimées en charrettes dans le bilan final (en divisant par [PdsChar]).

• Module « rations »

Variables d'entrée
- Lots d'animaux qui reçoivent une complémentation de leur ration en SSC [AnxCompl]
L'utilisateur peut choisir entre [Tous] tous les animaux (ce qui est assez peu probable puisqu'au moins les PR ne sont pas complémentés), [Bovins] tous les bovins, [BdT+Emb] tous les BdT et d'embouche, [Emb] seulement les animaux d'embouche, et [Aucun] aucun animal complémenté.

Paramètres (Tableau 20)
Ils concernent les teneurs en UF et MAD des différents types d'aliments considérés.
- Pour les pailles de céréales, on a pris la moyenne des teneurs en UF et MAD des pailles de maïs et de sorgho : 0,3 à 0,4 UF/kg et 7 à 14 g MAD/kg (Dugué, P. 1999).
- Pour les autres aliments, on a utilisé les standards des références bibliographiques.

Tableau 20 : Paramètres du module "rations"

Description du paramètre		Nom	Unité	Valeur	Source
Quantité d'UF des aliments	Quantité d'UF contenue dans 1 kg de pailles de céréales	NUF1PailCer	*en UF/kg*	0,35	(Dugué, P. 1999)
	Quantité d'UF contenue dans 1 kg de MS de fanes de niébé	NUF1FanNieb	*en UF/kg*	0,64	(Centre-Agro-Entreprise 2000)
	Quantité d'UF contenue dans 1 kg de tourteau de coton	NUF1TdC	*en UF/kg*	1,04	(Centre-Agro-Entreprise 2000; Diop, A. T., Coulibaly, A. 2002))
Quantité de MAD des	Quantité de MAD contenue dans 1 kg de pailles de céréales	NMAD1PailCer	*en g MAD/kg*	10	(Dugué, P. 1999)

aliments	Quantité de MAD contenue dans 1 kg de MS de fanes de niébé	NMAD1FanNieb	*en g MAD/kg*	86	(Centre-Agro-Entreprise 2000; Diop, A. T., Coulibaly, A. 2002))
	Quantité de MAD contenue dans 1 kg de tourteau de coton	NMAD1TdC	*en g MAD/kg*	426	(Centre-Agro-Entreprise 2000; Diop, A. T., Coulibaly, A. 2002))
Poids d'un sac de tourteau de coton		PdsSacTdC	*en kg*	50	

Variables intermédiaires de calcul

1) Offre fourragère de l'exploitation

- Quantité d'UF et de MAD disponibles dans le stock de tous les fourrages, soit l'offre en UF et en MAD de l'exploitation en SSC [$Offre_F EA$] où F = UF, MAD

*(E59) : [$Offre_F EA$] = ([StockResMais] + [StockResSorgho]) * [$N_F 1PailCer$] + ([StockResCultSec] + [StockResCultFrg]) * [$N_F 1FanNieb$]*

2) Demande fourragère pour les différents lots complémentés en SSC

- Besoins totaux en UF et en MAD de tous les troupeaux pour la SSC, soit la demande en UF et en MAD de l'exploitation en SSC [$Demand_F EA$] où F = UF, MAD

*(E60) : [$Demand_F EA$] = [$Bes_F totJ$] * [NjourC]*

- Besoins en UF et en MAD de tous les bovins pour la SSC, soit la demande en UF et en MAD des bovins en SSC [$Demand_F bov$] où F = UF, MAD

*(E61) : [$Demand_F bov$] = ([$Bes_F totJ$] – [$Bes_F PRJ$]) * [NjourC]*

- Besoins en UF et en MAD des BdT et des bovins d'embouche pour la SSC, soit la demande en UF et en MAD des « BdT+Emb » en SSC [$Demand_F BdTEmb$] où F = UF, MAD

*(E62) : [$Demand_F BdTEmb$] = ([$Bes_F BdTJ$] + [$Bes_F EmbJ$]) * [NjourC]*

- Besoins en UF et en MAD des bovins d'embouche pour la SSC, soit la demande en UF et en MAD des seuls bovins d'embouche en SSC [$Demand_F Emb$] où F = UF, MAD

*(E63) : [$Demand_F Emb$] = [$Bes_F EmbJ$] * [NjourC]*

3) Bilan fourrager pour les différents lots complémentés en SSC

- Bilan en UF et en MAD au niveau de l'exploitation agricole [$Bilan_F EA$] où F = UF, MAD

(E64) : [$Bilan_F EA$] = [$Offre_F EA$] - [$Demand_F EA$]

- Bilan en UF et en MAD au niveau de chaque type de lot complémenté [$Bilan_{FAnxCompl}$] où F = UF, MAD et où AnxCompl = bov, BdTEmb, Emb

(E65) : [$Bilan_{FAnxCompl}$] = [$Offre_F EA$] - [$Demand_{FAnxCompl}$]

4) Equivalent du déficit fourrager en quantité de tourteau de coton à acheter

Si ces bilans sont négatifs, alors cela signifie que les ressources fourragères produites et stockées par l'exploitation ne suffisent pas pour couvrir les besoins des troupeaux en SSC. On calcule donc l'équivalent du déficit fourrager en quantité de tourteau de coton à acheter pour compléménter les rations.

- Quantité de tourteau de coton à acheter pour compléménter toutes les rations de tous les animaux (en kg), en cas de bilan fourrager négatif à l'échelle de l'exploitation [BesTdCtot]

(E66) : [BesTdCtot] = SI [BilanUFEA] < 0, ALORS [BesTdCtot] = Max ((-[BilanUFEA] / [NUF1TdC]) ; (-[BilanMADEA] / [NMAD1TdC])), SINON [BesTdCtot] = 0

- Quantité de tourteau de coton à acheter pour complémenter chaque lot complémenté (en kg), en cas de bilan fourrager négatif à l'échelle du lot considéré [$BesTdC_{AnxCompl}$] où AnxCompl = bov, BdTEmb, Emb

(E67) : [$BesTdC_{AnxCompl}$] = SI [$BilanUF_{AnxCompl}$] < 0, ALORS [$BesTdC_{AnxCompl}$] = Max ((-[$BilanUF_{AnxCompl}$] / [NUF1TdC]) ; (-[$BilanMAD_{AnxCompl}$] / [NMAD1TdC])), SINON [$BesTdC_{AnxCompl}$] = 0

Variables de sorties : Bilan fourrager pour la SSC

- Bilan en UF et en MAD pour les lots d'animaux choisis et pour la SSC (en UF et en g MAD) [$Bilan_FAn$]

(E68) : [$Bilan_FAn$] = SI [AnxCompl] = « Tous », ALORS [$Bilan_FAn$] = [$Bilan_FEA$], SINON SI [AnxCompl] = « Bovins », ALORS [$Bilan_FAn$] = [$Bilan_Fbov$], SINON SI [AnxCompl] = « BdT+Emb », ALORS [$Bilan_FAn$] = [$Bilan_FBdTEmb$], SINON SI [AnxCompl] = « Emb », ALORS [$Bilan_FAn$] = [$Bilan_FEmb$], SINON [$Bilan_FAn$] = 0

- Nombre de sacs de tourteaux à acheter pour complémenter le nombre d'animaux choisis pendant la SSC (en nombre de sacs de 50 kg) [BesTdCach]

(E69) : [BesTdCach] = SI [BilanUFAn] < 0, ALORS [BesTdCach] = MAX (-[BilanUFAn] / [NUF1TdC] ; -[BilanMADAn] / [NMAD1TdC]) / [PdsSacTdC], SINON [BesTdCach] = 0

- Dose de tourteau de coton à distribuer aux animaux que l'on a choisis de complémenter par jour et par animal pendant la SSC (en kg / jour et animal) [BesTdCJ]

*(E70) : [BesTdCJ] = SI [AnxCompl] = « Tous », ALORS [BesTdCJ] = [BesTdCach] / (([NBdT03] + [NBER03] + [NVL03] + [NPR03] + [NEmb03]) * [NjourC]), SINON SI [AnxCompl] = « Bovins », ALORS [BesTdCJ] = [BesTdCach] / (([NBdT03] + [NBER03] + [NVL03] + [NEmb03]) * [NjourC]), SINON SI [AnxCompl] = « BdT+Emb », ALORS [BesTdCJ] = [BesTdCach] / (([NBdT03] + [NEmb03]) * [NjourC]), SINON SI [AnxCompl] = « Emb », ALORS [BesTdCJ] = [BesTdCach] / ([NEmb03] * [NjourC]), SINON [BesTdC] = 0*

• Module « production de fumure organique »

Variables d'entrée

Pour chaque lot d'animaux et pour chaque période (hivernage, SSF, SSC), l'utilisateur doit choisir entre les modalités « fosse » ou « parc », ou « néant » c'est-à-dire ni l'une ni l'autre. On fait en effet l'hypothèse simplificatrice que le producteur s'en tient à un type de production de fumure par lot d'animaux et par saison.

- Pour la modalité « fosse », on considère que les animaux sont parqués de nuit dans un hangar à proximité d'une fosse, et que la somme de leurs déjections et de la litière associée (constituée des refus des résidus de culture apportés en SSC seulement) est versée dans la fosse pour produire du fumier. A cela s'ajoutent les ordures ménagères produites par la famille pendant toute l'année.
- Pour la modalité « parc », on considère que les animaux sont soit parqués de nuit directement sur les parcelles cultivées (pratique du parcage mobile observée surtout chez les éleveurs en saison sèche : déplacement du parc toutes les trois semaines environ), soit parqués de nuit dans un parc hors parcelles (bord de champ, proche de la concession… cas du parcage d'hivernage le plus souvent). Pour cette dernière possibilité, les déjections sont alors ramassées à la fin du parcage et épandues sur les parcelles cultivées sous forme de terre de parc.

- Devenir des déjections des BdT aux différentes périodes [$ModFOBdT_i$] où i = H, F, C
- Devenir des déjections des BE aux différentes périodes [$ModFOBE_i$] où i = H, F, C
- Devenir des déjections des PR aux différentes périodes [$ModFOPR_i$] où i = H, F, C
- Devenir des déjections des bovins d'embouche aux différentes périodes [$ModFOEmb_i$] où i = H, F, C

Paramètres (Tableau 21)

Tableau 21 : Paramètres du module "fumure organique"

Description du paramètre	Nom	Unité	Valeur
Pourcentage de pertes de FO	TxperteFO	*en %*	30%

Variables intermédiaires de calcul

1) Quantité de FO produite par la modalité FOSSE pour chaque période

- Quantité de FO produite par la modalité FOSSE à partir des différents lots d'animaux et aux différentes périodes (en kg) [$Qfosse_{Anxi}$] où Anx = BdT, BE, PR, Emb, et i = H, F, C (et avec d = 05 si i=H ; 11 si i=F ; 03 si i=C)

*(E71) : [$Qfosse_{Anxi}$] = SI [$ModFO_{Anxi}$] = « Fosse », ALORS [$Qfosse_{Anxi}$] = [UBT_{Anxd}] * [QDejNuitUBT] * [$Njour_i$], SINON [$Qfosse_{Anxi}$] = 0*

- Quantité de FO produite par la modalité FOSSE à partir de tous les animaux aux différentes périodes (en kg) [$QfosseAnx_i$] où i = H, F, C

(E72) : [$QfosseAnx_i$] = [$QfosseBdT_i$] + [$QfosseBE_i$] + [$QfossePR_i$] + [$QfosseEmb_i$]

2) Quantité de FO produite par la modalité PARC pour chaque période

- Quantité de FO produite par la modalité PARC à partir des différents lots d'animaux aux différentes périodes (en kg) [$Qparc_{Anxi}$] où Anx = BdT, BE, PR, Emb, et i = H, F, C (et avec d = 05 si i=H ; 11 si i=F ; 03 si i=C)

*(E73) : [$Qparc_{Anxi}$] = SI [$ModFO_{Anxi}$] = « Parc », ALORS [$Qparc_{Anxi}$] = [UBT_{Anxd}] * [QDejNuitUBT] * [$Njour_i$], SINON [$Qparc_{Anxi}$] = 0*

- Quantité de FO produite par la modalité PARC à partir de tous les animaux aux différentes périodes (en kg) [$QparcAnx_i$] où i = H, F, C

(E74) : [$QparcAnx_i$] = [$QparcBdT_i$] + [$QparcBE_i$] + [$QparcPR_i$] + [$QparcEmb_i$]

Variables de sortie

1) Quantité totale de FO produite par la modalité FOSSE à chaque période

- Quantité de FO produite par la modalité FOSSE en hivernage et en SSF (en kg) [$Qfosse_i$] où i = H, F

*(E75) : [$Qfosse_i$] = SI [StockmaxFO] > 0, ALORS [$Qfosse_i$] = (1 - [TxperteFO]) * [$QfosseAnx_i$], SINON [$Qfosse_i$] = 0*

- Quantité de FO produite par la modalité FOSSE en SSC (en kg) [QfosseC]

On considère que 30% des résidus de culture donnés en affourragement en SSC sont piétinés et constituent une litière pour les animaux. Ce sont ces restes de résidus de culture qui sont ajoutés en SSC au contenu de la fosse.

*(E76) : [QfosseC] = SI [StockmaxFO] > 0, ALORS SI [QfosseAnxC] = 0, ALORS [QfosseC] = 0, SINON [QfosseC] = [1-TxperteFO] * [QfosseAnxC] + [TxperteFO] * [StockResTot] ET SINON [QfosseC] = 0*

- Quantité de FO produite par la modalité FOSSE pendant toute l'année (en kg) [QfosseAn]

On ajoute les ordures ménagères au contenu de la fosse, en plus des déjections et des résidus de culture.

(E77) : [QfosseAn] = SI [StockmaxFO] > 0, ALORS [QfosseAn] = MIN ([QfosseH] + [QfosseF] + [QfosseC] + [QordMAnEA] ; [StockmaxFO], SINON [QfosseAn] = 0

2) Quantité totale de FO produite par la modalité PARC à chaque période

- Quantité de FO produite par la modalité PARC à chaque période (en kg) [$Qparc_i$] où i = H, F, C

*(E78) : [$Qparc_i$] = (1 - [TxperteFO]) * [$QparcAnx_i$]*

- Quantité de FO produite par la modalité PARC pendant toute l'année (en kg) [QparcAn]

(E79) : [QparcAn] = [QparcH] + [QparcF] + [QparcC]

3) Quantité totale de FO totale produite sur l'exploitation

- Quantité totale de FO produite sur l'exploitation pendant toute l'année (fumier de fosse + déjections de parc ; en kg) [QFOtot]

(E80) : [QFOtot] = [QparcAn] + [QfosseAn]

- Ratio quantité annuelle potentielle de déjections productible sur l'exploitation sur quantité de FO effectivement produite pendant l'année (en %) [TxUtiFO]

*(E81) : [TxUtiFO] = SI [StockmaxFO] > 0, ALORS [TxUtiFO] = [QFOtot] / ([QDejpotAn] * (1 – [TxperteFO]) + [StockResTot] * [TxperteFO] + [QordMAnEA]), SINON [TxUtiFO] = [QFOtot] / ([QDejpotAn] * (1 – [TxperteFO]))*

• Module « fertilisation »

Variables d'entrée

D'après les enquêtes, il ressort que les producteurs n'appliquent des engrais minéraux que sur trois cultures : majoritairement sur le coton, puis le maïs, et enfin dans une moindre mesure le sorgho. Ces engrais, auxquels ils ont le plus souvent accès par le crédit accordé par la SOFITEX sont le NPK et l'urée. Les éleveurs qui le plus souvent ne cultivent pas de coton ont moins accès à ces engrais minéraux et doivent donc soit se les procurer sur le marché privé (sans crédit), soit s'en passer et baser leur fertilisation sur la fumure organique produite par leurs troupeaux.

Aussi les variables d'entrée sont les suivantes :

- Quantité d'engrais NPK épandue sur coton (en kg/ha) [QNPKcoton]
- Quantité d'engrais NPK épandue sur maïs (en kg/ha) [QNPKmais]
- Quantité d'engrais NPK épandue sur sorgho (en kg/ha) [QNPKsorgho]
- Quantité d'urée épandue sur coton (en kg/ha) [QUreecoton]
- Quantité d'urée épandue sur maïs (en kg/ha) [QUreemais]
- Quantité d'urée épandue sur sorgho (en kg/ha) [QUreesorgho]

Paramètres fixes (Tableau 22)

- Fraction en N du fumier (en %) [FNfumier] :

On trouve des références de 1,03% (Dakouo, 1994, cité par Semporé, A. 2008) ou 1,39% (moyenne obtenue par (Landais, E., Lhostes, P. 1993)). → On choisit 1,21%.
- Fraction en P205 du fumier (en %) [FPfumier] :
On trouve des références de 0,48% (Dakouo, 1994, cité par Semporé, A. 2008) ou 0,46% (moyenne obtenue par (Landais, E., Lhostes, P. 1993)). → On choisit 0,47%.
- Fraction en K20 du fumier (en %) [FKfumier] :
On trouve des références de 1,49% (Dakouo, 1994, cité par Semporé, A. 2008) ou 1,69% (moyenne obtenue par (Landais, E., Lhostes, P. 1993)). → On choisit 1,59%.

- Quantité maximale de FO épandable par hectare (en kg /ha) [MaxFOha] = 6000 (6 t/ha à épandre tous les trois ans, recommandations de (Berger, M., Belem, P.C., Dakouo, D., Hien, V. 1987) pour l'Ouest du Burkina-Faso)

Tableau 22 : Paramètres du module « fertilisation »

Description du paramètre		Nom	Unité	Valeur	Source
Fraction NPK du NPK	Fraction en N de l'engrais NPK	FNNPK	*en %*	14,00%	(Semporé, A. 2008)
	Fraction en P de l'engrais NPK	FPNPK	*en %*	23,00%	(Semporé, A. 2008)
	Fraction en K de l'engrais NPK	FKNPK	*en %*	14,00%	(Semporé, A. 2008)
Fraction NPK de l'urée	Fraction en N de l'urée	FNUree	*en %*	46,00%	(Semporé, A. 2008)
	Fraction en P de l'urée	FPUree	*en %*	0,00%	(Semporé, A. 2008)
	Fraction en K de l'urée	FKUree	*en %*	0,00%	(Semporé, A. 2008)
Fraction NPK du fumier	Fraction en N du fumier	FNfumier	*en %*	1,21%	
	Fraction en P du fumier	FPfumier	*en %*	0,47%	
	Fraction en K du fumier	FKfumier	*en %*	1,59%	
Fraction NPK des déjections de bovins	Fraction en N des déjections desséchées de bovins	FNDejbov	*en %*	1,28%	(Landais, E., Lhostes, P. 1993)
	Fraction en P des déjections desséchées de bovins	FPDejbov	*en %*	0,25%	(Landais, E., Lhostes, P. 1993)
	Fraction en K des déjections desséchées de bovins	FKDejbov	*en %*	0,56%	(Landais, E., Lhostes, P. 1993)
Fraction NPK des déjections de PR	Fraction en N des déjections desséchées de PR	FNDejPR	*en %*	2,20%	(Landais, E., Lhostes, P. 1993)
	Fraction en P des déjections desséchées de PR	FPDejPR	*en %*	0,27%	(Landais, E., Lhostes, P. 1993)
	Fraction en K des déjections desséchées de PR	FKDejPR	*en %*	0,88%	(Landais, E., Lhostes, P. 1993)
	Quantité maximale de FO épandable par ha	MaxFOha	*en kg/ha*	6000	

Variables intermédiaires de calcul

1) Fertilisation minérale

- Quantité de N, P, et K minéral apportée au coton, maïs et sorgho (en kg N, P et K/ha) [$Q_E min_{Cult}$] où E = N, P, K et où Cult = coton, mais, sorgho

(E82) : $[Q_E min_{Cult}] = [QNPK_{Cult}] * [F_E NPK] + [QUree_{Cult}] * [F_E Uree]$

2) Fertilisation organique

Les enquêtes révèlent que pour la plupart des exploitations, la fumure organique est en priorité épandue sur maïs, puis sur coton, et enfin dans une moindre mesure sur sorgho. On considère donc que les producteurs appliquent leur stock de fumier et de déjections d'abord sur maïs, avec un maximum de 6t /ha (recommandations de 6t/ha tous les trois ans par Berger et al., 1987). S'il reste de la fumure organique disponible, alors elle est appliquée sur coton

avec également un maximum de 6t /ha, puis l'éventuel restant est épandu sur sorgho, avec ce même maximum de 6t /ha.
Etant donné que le fumier de fosse est plus riche en éléments minéraux que les déjections de parc, on applique ce raisonnement d'abord au fumier, puis aux déjections.

- Quantité de fumier épandue sur maïs (en kg /ha) [Qfumiermais]

(E83) : [Qfumiermais] = Min ([MaxFOha] ; [QfosseAn] / [Smais])

- Quantité de fumier épandue sur coton (en kg /ha) [Qfumiercoton]

*(E84) : [Qfumiercoton] = SI [Scoton] > 0, ALORS [Qfumiercoton] = Min ([MaxFOha] ; ([QfosseAn] - [Qfumiermais] * [Smais]) / [Scoton]), SINON [Qfumiercoton] = 0*

- Quantité de fumier épandue sur sorgho (en kg /ha) [Qfumiersorgho]

*(E85) : [Qfumiersorgho] = SI [Ssorgho] > 0, ALORS [Qfumiersorgho] = Min ([MaxFOha] ; ([QfosseAn] - [Qfumiermais] * [Smais] - [Qfumiercoton] * [Scoton]) / [Ssorgho]), SINON [Qfumiersorgho] = 0*

- Quantité de déjections de parc épandue sur maïs (en kg /ha) [QDejmais]

(E86) : [QDejmais] = Min ([MaxFOha] - [Qfumiermais] ; [QparcAn] / [Smais])

- Quantité de déjections de parc épandue sur coton (en kg /ha) [QDejcoton]

*(E87) : [QDejcoton] = SI [Scoton] > 0, ALORS [QDejcoton] = Min ([MaxFOha] - [Qfumiercoton] ; ([QparcAn] - [QDejmais] * [Smais]) / [Scoton]), SINON [QDejcoton] = 0*

- Quantité de déjections de parc épandue sur sorgho (en kg /ha) [QDejsorgho]

*(E88) : [QDejsorgho] = SI [Ssorgho] > 0, ALORS [QDejsorgho] = Min ([MaxFOha] - [Qfumiersorgho] ; ([QparcAn] - [QDejmais] * [Smais] - [QDejcoton] * [Scoton]) / [Ssorgho]), SINON [QDejsorgho] = 0*

- Quantité totale de FO produite par les déjections des PR pendant toute l'année (en kg) [QDejPRAn]

(E89) : [QDejPRAn] = Σ_i [QparcPR$_i$] où i = H, F, C

- Part de FO produite par les déjections des PR dans la quantité totale de déjections de parc (en %) [TxFOPR]

(E90) : [TxFOPR] = [QDejPRAn] / ([QparcAn] + 0,1)

- Quantité de N, P et K organique apportée au coton, maïs et sorgho (en kg N, P et K/ha) [$Q_E org_{Cult}$] où E = N, P, K et où Cult = coton, mais, sorgho

*(E91) : [$Q_E org_{Cult}$] = [$Qfumier_{Cult}$] * [$F_E fumier$] + [$QDej_{Cult}$] * ((1-[TxFOPR]) * [$F_E Dejbov$] + [TxFOPR] * [$F_E DejPR$])*

Variables de sortie

1) Quantité totale de FO apportée au maïs, au coton et au sorgho par hectare (en kg /ha) [$QFO_{Cult}ha$] où Cult = mais, coton, sorgho

(E92) : [$QFO_{Cult}ha$] = [$Qfumier_{Cult}$] + [$QDej_{Cult}$]

2) Quantité totale d'éléments minéraux apportée aux cultures

- Quantité totale de N, P et K apportée au coton, maïs et sorgho (en kg N, P et K/ha) [$Q_E tot_{Cult}$] où E = N, P, K et où Cult = coton, mais, sorgho

(E93) : [$Q_E tot_{Cult}$] = [$Q_E min_{Cult}$] + [$Q_E org_{Cult}$]

Cette variable peut être exprimée en nombre de charrettes /ha en la divisant par [PdsChar].

3) Bilans minéraux simplifiés des cultures

Les variables précédentes (E93), confrontées aux besoins minéraux des cultures, permettent de faire le bilan minéral des cultures de coton, maïs, et sorgho.

Les bilans minéraux des cultures secondaires et fourragères sont par définition négatifs car il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par fertilisation. On ne considère donc que les exportations (moins l'apport de N par fixation symbiotique de l'ordre de 40 kg N /ha (Piéri, C. 1989) et pris en compte dans les paramètres du module culture).

- Bilan N, P, K sur le coton, le maïs et le sorgho (en kg N, P, K/ha) [$Bilan_{ECultf}$] où E = N, P, K et où Cultf = coton, mais, sorgho

$$(E94) : [Bilan_{ECultf}] = [Q_E tot_{Cultf}] - [Bes_{ECultf} ha]$$

- Bilan N, P, K sur les cultures secondaires et les cultures fourragères (en kg N, P K/ha) [$Bilan_{ECult}$] où E = N, P, K et où Cult = CultSec, CultFrg

$$(E95) : [Bilan_{ECult}] = - [Bes_{ECult} ha]$$

• Module « économique »

Variables d'entrée

- Quantité de maïs (en kg) que l'exploitant décide de mettre en réserves dans le grenier (en plus du stock annuel destiné à l'autoconsommation) [ReservMais]
- Nombre de litres d'herbicide total Touchdown achetés (en L) [QHerbTDach]
- Nombre de litres d'herbicide coton Alonet achetés (en L) [QHerbCAlach]
- Nombre de litres d'herbicide coton Galan super achetés (en L) [QHerbGSach]
- Nombre de litres d'herbicide coton CotonDom achetés (en L) [QHerbCDach]
- Nombre de sacs d'herbicide coton Action 80 achetés (en sacs) [QHerbAcach]
- Nombre de litres d'herbicide coton Herbicoton achetés (en L) [QHerbHCach]
- Nombre de litres d'herbicide maïs Altram achetés (en L) [QHerbMAlach]
- Nombre de litres d'insecticides 1er type achetés (en L) [QInsect1ach]
- Nombre de litres d'insecticides 2ème type achetés (en L) [QInsect2ach]
- Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences (en Fcfa) [CoutSem]
- Nombre de journées payées à une main d'œuvre extérieure journalière (désherbage, récolte…) [NjourMOext]
- Nombre d'actifs permanents employés par le chef d'exploitation (berger par exemple) [Nactext]
- Frais vétérinaires totaux (en Fcfa) [CoutVet]
- Montant annuel des frais de sel pour les animaux (en Fcfa) [CoutSel]
- Montant annuel des dépenses liées à l'achat de matériel (en Fcfa) [CoutMat]

Paramètres (Tableau 23)

Tableau 23 : Paramètres du module « économie »

Description du paramètre		Nom	Unité	Valeur
Prix d'achat	Prix d'achat d'un litre d'herbicide total Touchdown	PrixHerbTD	*en Fcfa*	5 700
	Prix d'achat d'un litre d'herbicide coton Alonet	PrixHerbCAl	*en Fcfa*	10 500
	Prix d'achat d'un litre d'herbicide coton Galan super	PrixHerbGS	*en Fcfa*	11 500
	Prix d'achat d'un litre d'herbicide coton CotonDom	PrixHerbCD	*en Fcfa*	5 700
	Prix d'achat d'un sac d'herbicide coton Action 80	PrixHerbAc	*en Fcfa*	1 250

	Prix d'achat d'un litre d'herbicide coton Herbicoton	PrixHerbHC	*en Fcfa*	15 000
	Prix d'achat d'un litre d'herbicide maïs Altram	PrixHerbMAl	*en Fcfa*	5 500
	Prix d'achat d'un litre d'insecticide 1er type	PrixInsec1	*en Fcfa*	4 342
	Prix d'achat d'un litre d'insecticide 2ème type	PrixInsec2	*en Fcfa*	8 684
	Prix d'achat d'un sac de NPK de 50 kg	PrixsacNPK	*en Fcfa*	13 200
	Prix d'achat d'un sac d'urée de 50 kg	PrixsacUree	*en Fcfa*	14 400
	Prix d'achat d'un sac de tourteau de coton	PrixsacTdC	*en Fcfa*	8 000
	Prix d'achat d'un BdT	PrixachBdT	*en Fcfa*	125 000
	Prix d'achat d'un BE	PrixachBE	*en Fcfa*	75 000
	Prix d'achat d'un PR	PrixachPR	*en Fcfa*	10 000
	Prix d'achat d'un bovin d'embouche	PrixachEmb	*en Fcfa*	100 000
Prix de vente	Prix de vente d'un BdT	PrixventeBdT	*en Fcfa*	100 000
	Prix de vente d'un BE	PrixventeBE	*en Fcfa*	115 000
	Prix de vente d'un PR	PrixventePR	*en Fcfa*	15 000
	Prix de vente d'un animal embouché	PrixventeEmb	*en Fcfa*	180 000
	Prix de vente du kg de coton graine	Prixventecoton	*en Fcfa*	165
	Prix de vente du kg de maïs	Prixventemais	*en Fcfa*	110
	Prix de vente du litre de lait	Prixventelait	*en Fcfa*	175
Prix de la MO	Prix d'une journée de travail pour une main d'œuvre extérieure journalière	PrixJMOext	*en Fcfa*	400
	Salaire annuel d'un actif permanent	PrixAnMOext	*en Fcfa*	120 000

Variables intermédiaires de calcul

- Nombre de sacs de 50 kg de tourteau de coton achetés [NsacTdCach]

(E96) : [NsacTdCach] = Partie entière ([BesTdCach]) + 1

- Nombre de sacs de 50 kg de NPK achetés [NsacNPKach]

*(E97) : [NsacNPKach] = ([QNPKcoton] * [Scoton] + [QNPKmais] * [Smais] + [QNPKsorgho] * [Ssorgho]) / 50*

- Nombre de sacs de 50 kg d'urée achetés [NsacUreeach]

*(E98) : [NsacUreeach] = ([QUreecoton] * [Scoton] + [QUreemais] * [Smais] + [QUreesorgho] * [Ssorgho]) / 50*

- Quantité de maïs vendue (en kg) [Qventemais]

(E99) : [Qventemais] = [StockCer] - [BesCerAnEA] - [ReservMais]

- Consommation familiale de lait (en L) [ConsoLait]

D'après les enquêtes réalisées, les familles consomment le lait à raison d'un demi litre par jour et par personne, d'où :

*(E100) : [ConsoLait] = [Nbouch] * 0,5 * 365*

Variables de sortie

- Total des dépenses liées aux herbicides (en Fcfa) [CoutHerb]

*(E101) : [CoutHerb] = [QHerbTDach] * [PrixHerbTD] + [QHerbCAlach] * [PrixHerbCAl] + [QHerbGSach] * [PrixHerbGS] + [QHerbCDach] * [PrixHerbCD] + [QHerbAcach] * [PrixHerbAc] + [QHerbHCach] * [PrixHerbHC] + [QHerbMAlach] * [PrixHerbMAl]*

- Total des dépenses liées aux insecticides (en Fcfa) [CoutInsec]

*(E102) : [CoutInsec] = [QInsec1ach] * [PrixInsec1] + [QInsec2ach] * [PrixInsec2]*

- Charges opérationnelles liées aux cultures (en Fcfa) [ChOpCult]

*(E103) : [ChOpCult] = [PrixsacNPK] * [NsacNPKach] + [PrixsacUree] * [NsacUreeach] + [CoutHerb] + [CoutInsec] + [CoutSem]*

- Charges opérationnelles liées à l'élevage (en Fcfa) [ChOpElev]

*(E104) : [ChOpElev] = [NsacTdCach] * [PrixsacTdC] + [CoutVet] + [CoutSel] + ([NBdTachH] + [NBdTachF] + [NBdTachC]) * [PrixachBdT] + ([NBEachH] + [NBEachF] + [NBEachC]) * [PrixachBE] + ([NPRachH] + [NPRachF] + [NPRachC]) * [PrixachPR] + ([NEmbachH] + [NEmbachF] + [NEmbachC]) * [PrixachEmb]*

- Charges opérationnelles totales (en Fcfa) [ChOptot]

*(E105) : [ChOptot] = [ChOpCult] + [ChOpElev] + [NjourMOext] * [PrixJMOext] + [Nactext] * [PrixAnMOext] + [CoutMat]*

- Produit brut lié aux cultures (en Fcfa) [PBCult]

D'après les observations d'enquêtes, les producteurs ne vendent que le coton (100% de la production) et les excédents de maïs (une fois que les besoins alimentaires sont couverts par le sorgho, puis le maïs).

*(E106) : [PBCult] = SI [Qventemais] > 0, ALORS [PBCult] = [RecGcoton] * [Prixventecoton] + [Qventemais] * [Prixventemais], SINON [PBCult] = [RecGcoton] * [Prixventecoton]*

- Produit brut lié à la production laitière (en Fcfa) [PBlait]

*(E107) : [PBlait] = SI [ProdlaitAn] - [ConsoLait] > 0, ALORS [PBlait] = ([ProdlaitAn] - [ConsoLait]) * [Prixventelait], SINON [PBlait] = 0*

- Produit brut lié à la production de viande (en Fcfa) [PBviande]

*(E108) : [PBviande] = ([NBdTvendH] + [NBdTvendF] + [NBdTvendC]) * [PrixventeBdT] + ([NBEvendH] + [NBEvendF] + [NBEvendC]) * [PrixventeBE] + ([NPRvendH] + [NPRvendF] + [NPRvendC]) * [PrixventePR] + ([NEmbvendH] + [NEmbvendF] + [NEmbvendC]) * [PrixventeEmb]*

- Produit brut lié à l'élevage (en Fcfa) [PBElev]

(E109) : [PBElev] = [PBlait] + [PBviande]

- Produit brut total (en Fcfa) [PBtot]

(E110) : [PBtot] = [PBCult] + [PBElev]

- Bilan économique (en Fcfa) [BilanEco]

(E111) : [BilanEco] = [PBtot] - [ChOptot]

- Nombre de BE à vendre en cas de bilan économique négatif [NBEavendre]

(E112) : [NBEavendre] = SI [BilanEco] < 0, ALORS [NBEavendre] = - [BilanEco] / [PrixventeBE], SINON [NBEavendre] = 0

Bibliographie

Andrieu, N. (2008). Compte-rendu du comité de pilotage du projet Corus du 22 et 23 avril 2008. Bobo-Dioulasso, CIRAD CIRDES**:** 11.

Berger, M., Belem, P.C., Dakouo, D., Hien, V. (1987). "Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture - élevage." Cot. Fib. Trop. **Vol XLII, fasc. 3**: 201-210.

Bourzat, D., Wilson, R.T. (1989). Principaux aspects zootechniques de la production des petits ruminants dans les systèmes agropastoraux du Yatenga (Burkina-Faso). E. e. s. d. l'IEMVT**:** 145.

Centre-Agro-Entreprise (2000). Manuel des bonnes pratiques pour l'alimentation du bétail et de la volaille. Tome 'Alimentation des animaux d'embouche'**:** 52.

Centre-Agro-Entreprise (2000). Manuel des bonnes pratiques pour l'alimentation du bétail et de la volaille. Tome 'Alimentation du troupeau laitier'**:** 54.

CIRAD-GRET (2002). Mémento de l'agronome.

Diop, A. T., Coulibaly, A. (2002). Guide technique pour l'établissement et la gestion de cultures fourragères pour l'augmentation de la production laitière dans les zones péri-urbaines. Dakar, FAO**:** 79.

Dugué, P. (1999). Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure animale : impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes. Etude de cas au Nord-Cameroun et essai de généralisation, CIRAD-TERA N°57/99, Rapport final de l'ATP Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle du terroir**:** 180.

IEMVT (1988). Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical, La documentation française, 533p.

Landais, E., Lhostes, P. (1993). "Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. II, Les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture." Cahiers Agricultures **2 n° 1**: 9-25.

Piéri, C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD.

Sangaré, M. (2005). Synthèse des résultats acquis sur l'élevage des petits ruminants dans les systèmes de production animale d'Afrique de l'Ouest. Bobo-Dioulasso, CIRDES URPAN**:** 165.

Semporé, A. (2008). Analyse de la production et de l'utilisation de la biomasse du maïs, du coton en zone Ouest du Burkina-Faso. Mémoire de fin de cycle d'ingénieur en développement rural, IDR**:** 74.

Vall, E., Andrieu, N., Dugué, P. (2008). Evolutions des pratiques agropastorales et changements climatiques en zone soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest : proposition d'un modèle conceptuel de l'interaction climat-écosystème-systèmes de production agropastoraux. Changements climatiques et interactions élevage environnement en Afrique de l'Ouest. Niamey, février 2008**:** 15.

Annexe 6 : Modifications du modèle après l'étape de validation à dire d'experts

- Modification de l'année de référence pour le scénario climatique favorable : 2004 au lieu de 2005 choisi initialement

Module ressources

- Changement d'unités des variables d'entrée [StockmaxFO] et [StockmaxRdC] : en nombre de charrettes (petit plateau) plutôt qu'en kg
- Ajout de la variable d'entrée « nombre de tracteurs » [Ntract] et modification du calcul de la surface labourable : ajout du paramètre « surface journalière labourable avec un tracteur » [SlabtractJ] = 6 ha/j, et [Slab] = SI [Ntract] = 0, ALORS [Slab] = [LimWsol] * [SlabcharJ] * [DurWsol], SINON [Slab] = [Ntract] * [SlabtractJ] * [DurWsol]
- Modification de la valeur du paramètre [BesCerAnPers] : 250 kg au lieu de 200
- Changement d'unités de la variable de sortie [BesCerAnEA] : en nombre de sacs de 100 kg au lieu d'en kg
- Ajout d'une variable de sortie [Scultact] qui calcule la surface cultivée par actif [Scult] / [Nact]

Module élevage

- Mettre en place une variable d'entrée facultative [NVL05uti] pour le nombre de VL initial, et, si l'utilisateur ne remplit pas cette variable, la calculer automatiquement à partir du nombre global de BE et le paramètre [PropVL] (validé au cours des restitutions)
- Mettre [$NVLach_i$] et [$NVLvend_i$] où i = H, F, C en variables d'entrée
- Modification des paramètres liés à la production laitière : [PropVLlaitH] = 40%, [PropVLlaitF] = 25%, [PropVLlaitC] = 10%, valeurs intermédiaires entre celles proposées à Koumbia et à Kourouma
- Modification des taux de mortalité des animaux, qui deviennent variables en fonction du scénario climatique : les producteurs préfèrent en effet que le modèle calcule les décès annuels en fonction des conditions climatiques plutôt que de les déclarer eux-mêmes (Tableau 24).

Tableau 24 : Paramètres liés à la mortalité des animaux, en fonction des scénarios climatiques

Taux de mortalité pour une année favorable	Taux de mortalité des VL (bovins adultes)	TxmortVLfav	*en %*	0,02
	Taux de mortalité des PR	TxmortPRfav	*en %*	0,02
	Taux de mortalité des bovins d'embouche	TxmortEmbfav	*en %*	0,015
	Taux de mortalité des veaux et des petits ruminants à la naissance	Txmortnatfav	*en %*	0,1
Taux de mortalité pour une année moyenne	Taux de mortalité des VL (bovins adultes)	TxmortVLmoy	*en %*	0,03
	Taux de mortalité des PR	TxmortPRmoy	*en %*	0,03
	Taux de mortalité des bovins d'embouche	TxmortEmbmoy	*en %*	0,02
	Taux de mortalité des veaux et des petits ruminants à la naissance	Txmortnatmoy	*en %*	0,15
Taux de mortalité pour une année défavorable	Taux de mortalité des VL (bovins adultes)	TxmortVLdfv	*en %*	0,04
	Taux de mortalité des PR	TxmortPRdfv	*en %*	0,04
	Taux de mortalité des bovins d'embouche	TxmortEmbdfv	*en %*	0,025
	Taux de mortalité des veaux et des petits ruminants à la naissance	Txmortnatdfv	*en %*	0,25

- Modification des équations du calcul des naissances des veaux et PR pour augmenter le nombre de naissances (sous-estimation lors des tests avec les producteurs) :

*[ProdveauxAn] = SI [NVLfin] < 1, ALORS [ProdveauxAn] = 0, SINON [ProdveauxAn] = (([NVL05] + [NVL11] + [NVL03]) / 3) * (1 – [TxmortnatAn]) * 1 / [IVVVL])*

*[ProdPRAn] = SI [NPR03] < 1, ALORS [ProdPRAn] = 0, SINON [ProdPRAn] = ((([NPR05] + [NPR11] + [NPR03]) * [PropVL]) / 3) * [TxfertiPR] * 1 / [IVVPR]*

- Ajout de la variable de sortie [NBEfin] = [NBERfin] + [NVLfin] pour faire le total de tous les bovins d'élevage

Module cultures

- Ajout d'une boîte de saisie pour les variables d'entrée [PropRecmais], [PropRecsorgho], et [PropRecCultSec] : l'utilisateur choisit entre les valeurs 0, 25, 50, 75 et 100 %
- Modification des valeurs de rendements grains pour les trois scénarios climatiques : l'utilisateur peut choisir entre deux gammes de rendements (et ce pour les trois scénarios), soit ceux de Koumbia représentatifs de sols sableux, soit ceux de Kourouma représentatifs de sols argileux plus favorables.
- Modification des rendements pailles : ils sont rendus variables avec les trois scénarios climatiques
- Changement d'unité pour les récoltes de grains : exprimées en sacs ; et pour les récoltes de pailles : exprimées en charrettes (petit plateau) et non plus en kg (plus parlant pour les producteurs)

Module rations

- Ajout d'une variable d'entrée : l'utilisateur choisit les lots d'animaux qu'il souhaite complémenter en SSC. [AnxCompl] = Tous, Bovins, BdT+Emb, Emb ou Aucun
- Changement d'unités pour la quantité de TdC à acheter pour combler l'éventuel déficit fourrager : en nombre de sacs de 50 kg plutôt qu'en kg
- Ajout d'une variable de sortie [BesTdCJ] correspondant à la quantité de TdC à distribuer par jour et par animal en SSC pour combler le déficit fourrager des lots choisis

Module fertilisation

- Modification du paramètre [MaxFOha] : 6 t/ha au lieu de 2 d'après les producteurs (ce qui correspond aux recommandations de Berger, et al. 1989 de 6 t/ha tous les trois ans)
- Ajout d'une variable de sortie [QFO_{Cult}ha] où Cult = mais, coton, sorgho, correspondant à la quantité totale de FO épandue par hectare de culture fertilisée (en kg/ha, ou en nombre de charrettes en divisant par [PdsChar]).

Module économie

- Modification des variables d'entrées [QHerbach] et [QInsecach] : les producteurs préfèrent remplir le détail des différents types d'herbicides et insecticides achetés, donc on crée une variable d'entrée par produit (Touchdown herbicide total, herbicides coton, herbicide maïs…).
- Ajout de variables d'entrée : [CoutSem] pour le coût total d'achat et de traitement des semences, [CoutMat] pour le coût total d'achat de matériel au cours de l'année, [CoutSel] pour le total des dépenses liées à l'achat de sel pour les animaux. On sépare en effet en deux variables les dépenses vétérinaires et les dépenses de sel (plus facile à renseigner pour l'utilisateur).

Résumé

Dans le bassin cotonnier de l'Ouest du Burkina-Faso, les exploitants agricoles sont confrontés à une compétition de plus en plus forte pour l'accès aux ressources agrosylvopastorales, qui entraîne de nombreux conflits entre activités agricoles et pastorales et remet en cause la fertilité des sols. Par ailleurs, l'actuelle baisse du prix du coton et la hausse de celui des intrants participent aussi à la remise en question du fonctionnement d'ensemble des exploitations. Dans ce contexte naturel et économique en mutation, la recherche agronomique travaille en partenariat avec les producteurs pour les aider à améliorer leurs systèmes de production dans le sens d'une meilleure intégration agriculture élevage, dans le but de satisfaire les besoins immédiats alimentaires et économiques, et d'assurer la durabilité de ces systèmes agropastoraux.
Le stage a eu lieu dans ce cadre (projet CORUS porté par le Cirad et le Cirdes) et avait pour objectifs de comprendre le fonctionnement technico-économique des exploitations en fonction des principales orientations stratégiques, pour le traduire en un outil de calcul et de réflexion stratégique. L'étude a été réalisée à Koumbia, village représentatif du bassin cotonnier.
Les enquêtes de terrain dans un petit nombre d'exploitations diversifiées ont permis d'identifier les règles de décision régissant les principales composantes de leur fonctionnement, et leurs adaptations à diverses stratégies. Puis, à partir de ce cadre suffisamment générique, nous avons élaboré un modèle conceptuel du fonctionnement des exploitations, avant de l'implémenter dans un tableur Excel. Cet outil de calcul simple et rapidement utilisable permet de donner des ordres de grandeur des performances technico-économiques des exploitations en réponse à des scénarios d'évolution. Dans le cadre d'un conseil technique aux agriculteurs, ceci permet d'alimenter la réflexion sur les opportunités de telle ou telle orientation stratégique à l'échelle de l'exploitation, et d'identifier des leviers d'action pour les producteurs. Il est maintenant nécessaire de réfléchir à la forme à donner au suivi d'exploitations et au conseil technique, ainsi qu'à la possibilité d'un modèle incluant un module décisionnel pour explorer des scénarios à plus long terme.

Mots-clés : relations agriculture élevage, décisions, modélisation, exploitation agricole, coton

Abstract

In the cotton production area of Burkina-Faso, farmers are facing a growing competition for natural resources. This leads to many conflicts between farmers and breeders and jeopardizes the fertility of soils. Besides, the decreasing price of cotton and the increasing one of the agricultural inputs also call the whole functioning of these farms into question. In this changing natural and economic context, the agronomic research collaborates with farmers to help them to improve the integration between agriculture and breeding in their farm, in order to satisfy their needs in food and money, and to guarantee the sustainability of such systems.
The internship took place within the context of the CORUS project led by Cirad and Cirdes. Our aim was to understand the economic and technical functioning of the farms, according to their strategic orientations, in order to translate it into a tool of thought about their strategic possibilities. The study took place in Koumbia, a representative village of the studied area.
Thanks to interviews in some diversified farms, we were able to identify the decision rules of their functioning, and their adaptations to different strategies. Then, from this as generic as possible frame, we elaborated a conceptual model of the farms'functioning, and we implemented it into Excel. This simply and quickly usable tool is able to roughly predict the impacts of evolution scenario on the economic and technical performances of the farms. This can help technical advisers to think with farmers about the opportunities of different strategic orientations at farm scale. It would be now necessary to continue the project with a reflexion about the technical advice to give to farmers and the possibility of the development of a model including not only a biophysical part, but also a decisional one. This more complex model could deal with long-term evolution scenarios.

Key words : relationships between agriculture and breeding, decisions, modelling, farm, cotton