

Rapports PSS N° 10 (Chapitre 1 et 2)

Production Soudano-Sahélienne (PSS)
Exploitation optimale des éléments nutritifs en élevage

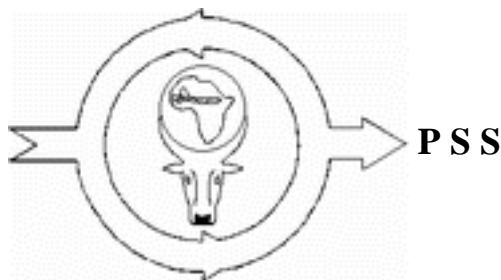
Projet de coopération scientifique

Modélisation et politique de développement : perspectives d'un développement agricole durable « Cas du Cercle de Koutiala »

Atelier Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) / projet PSS
à Niono du 18 au 20 Septembre 1994

Equipe Modélisation des Systèmes (EMS)

IER, Bamako
AB-DLO, Wageningen, Haren
DAN-UAW, Wageningen



Rapports PSS N° 10
Wageningen, 1995

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 10

Table des matières

- [Avant-propos](#)
 - [Pourquoi cet atelier ?](#)
 - [Objectifs de l'atelier](#)
 - [Contenu du document](#)
- [1. La programmation linéaire à buts multiples pour un développement durable dans le cercle de Koutiala : ressources, options techniques de production durable et premiers résultats](#)

- [1.1. Introduction](#)
 - [1.1.1. Présentation sommaire du projet PSS](#)
 - [1.1.1.1. Approche méthodologique générale](#)
 - [1.1.1.2. Organisation scientifique](#)
 - [1.1.2. L'Equipe Modélisation des Systèmes \(EMS\)](#)
 - [1.1.2.1. Méthodologie générale de l'EMS](#)
 - [1.1.2.2. L'état actuel des résultats de recherche](#)
- [1.2. Ressources dans le cercle de Koutiala](#)
 - [1.2.1. Ressources humaines : population et main d'oeuvre](#)
 - [1.2.2. Ressources naturelles](#)
 - [1.2.2.1. Classification PIRT](#)
 - [1.2.2.2. Classification PSS](#)
- [1.3. Activités](#)
 - [1.3.1. Approche de définition des activités](#)
 - [1.3.1.1. Les types d'activité et leurs interrelations à travers les intrants/extrants](#)
 - [1.3.1.2. Activités, systèmes de production et durabilité](#)
 - [1.3.1.3. Les intrants et extrants des activités de la région](#)
 - [1.3.2. Activités de culture](#)
 - [1.3.2.1. Définition des activités](#)
 - [1.3.2.2. Description quantitative](#)
 - [1.3.3. Activités de soutien](#)
 - [1.3.3.1. Activités de jachère](#)
 - [1.3.3.2. Activités de pâturage](#)
 - [1.3.3.3. Activités de brûlis des résidus](#)
 - [1.3.3.4. Activités d'enfouissement des résidus](#)
 - [1.3.3.5. Activités de fabrication de litière](#)
 - [1.3.3.6. Activités de transport des résidus vers la ferme](#)
 - [1.3.3.7. Activités de transport de fumier vers le champ](#)
 - [1.3.4. Activités d'élevage](#)
 - [1.3.4.1. Introduction](#)
 - [1.3.4.2. Activités d'élevage en troupeau](#)
 - [1.3.4.3. Activités d'embouche](#)
- [1.4. Modélisation](#)
 - [1.4.1. La planification à buts multiples : un outil d'analyse des options de production agricole durable](#)
 - [1.4.1.1. La programmation linéaire : un exemple](#)
 - [1.4.1.2. La procédure de la Programmation Linéaire à Buts Multiples](#)

- [1.4.1.3. Possibilités et limites de la méthode](#)
- [1.4.2. Description du modèle de programmation linéaire](#)
 - [1.4.2.1. Composantes principales du modèle PL](#)
 - [1.4.2.2. La langue de modélisation utilisée](#)
 - [1.4.2.3. Explication technique du modèle PLBM](#)
- [1.4.3. Résultats du modèle au niveau petite région \(cercle de Koutiala\)](#)
 - [1.4.3.1. Eléments de base](#)
 - [1.4.3.2. Formulation des scénarios de développement](#)
 - [1.4.3.3. Conclusions](#)
- [1.4.4. Résultats du modèle au niveau Ferme](#)
 - [1.4.4.1. Eléments de base](#)
 - [1.4.4.2. Résultats](#)
- [1.5. Références](#)
- [1.6. Annexes](#)
- [2. Le rôle de la modélisation dans la planification des interventions qui visent un développement durable](#)
 - [2.1. Introduction](#)
 - [2.2. Planification de l'utilisation des terres](#)
 - [2.2.1. Planification](#)
 - [2.2.2. Méthodologie de la planification](#)
 - [2.2.3. Des techniques de modélisation](#)
 - [2.2.3.1. Des modèles de simulation pour la croissance des cultures](#)
 - [2.2.3.2. Des modèles de programmation linéaire à buts multiples](#)
 - [2.2.3.3. Les modèles des ménages paysans](#)
 - [2.4. Conclusions](#)
 - [2.5. Références](#)
- [3. CMDT et Comité Locale de Développement de Koutiala : Aperçu du bilan et des perspectives des interventions pour résoudre les problèmes de développement au niveau du Cercle de Koutiala \(1975 - 2000\)](#)
 - [3.1. Introduction](#)
 - [3.2. Bilan et perspectives](#)
 - [3.2.1. Dans le domaine de l'agriculture](#)
 - [3.2.2. Dans le domaine de l'élevage](#)
 - [3.2.3. Dans le domaine de la foresterie](#)
 - [3.2.4. Dans le domaine du maintien du potentiel productif](#)
 - [3.2.5. Dans le domaine d'organisation du monde rural](#)
 - [3.3. Conclusions](#)
- [4. Structure d'un modèle de simulation du développement agricole à Koutiala](#)

- [4.1. Introduction](#)
- [4.2. Description générale de la situation agricole dans le cercle de Koutiala](#)
- [4.3. Description du modèle](#)
 - [4.3.1. Introduction](#)
 - [4.3.2. L'économie du paysan](#)
 - [4.3.3. La productivité des cultures](#)
 - [4.3.3.1. La dynamique de l'azote](#)
 - [4.3.3.2. La dynamique du phosphore](#)
 - [4.3.3.3. La disponibilité de l'eau](#)
 - [4.3.3.4. L'acidité du sol](#)
 - [4.3.4. La production animale](#)
 - [4.3.5. La dynamique au niveau du cercle](#)
- [4.4. Quelques résultats préliminaires](#)
- [4.5. Références](#)
- [5. Des actions de pré vulgarisation à des thèmes de recherche : Chronologie des Actions DRSPR dans la zone de Koutiala](#)
 - [5.1. Introduction](#)
 - [5.2. La période de 1983 à 1988](#)
 - [5.2.1. Les activités d'amélioration de la méthode de vulgarisation](#)
 - [5.2.1.1. Le conseil de gestion à l'exploitation](#)
 - [5.2.1.2. L'approche village : le conseil de gestion dans les villages non-ZAER](#)
 - [5.2.2. Les activités d'aménagements anti-érosifs](#)
 - [5.3. La période de 1988 à 1994](#)
 - [5.3.1. Le suivi-évaluation permanent \(SEP\)](#)
 - [5.3.1.1. Quelques résultats](#)
 - [5.3.1.2. Vers une nouvelle démarche](#)
 - [5.3.2. De la lutte anti-érosive à la gestion des ressources naturelles](#)
 - [5.3.2.1. Outil conseil de gestion de terroir](#)
 - [5.3.3. Vers une intensification agricole](#)
 - [5.3.3.1. Le niveau exploitation](#)
 - [5.3.3.2. Les niveaux champ de culture et élevage](#)
 - [5.4. Quelles perspectives ?](#)
 - [5.5. Références](#)
 - [5.6. Annexes](#)
- [6. Modélisation des ménages paysans pour une utilisation durable des ressources du terroir : Estimation de l'efficacité des instruments de prix et du marché](#)
 - [Résumé](#)

- [6.1. Introduction](#)
- [6.2. Le modèle](#)
 - [6.2.1. L'approche de modélisation et structure du modèle](#)
 - [6.2.2. Module budgétaire](#)
 - [6.2.3. Module des prix](#)
 - [6.2.4. Module des systèmes de production](#)
 - [6.2.5. Module de stratifications des exploitations](#)
 - [6.2.6. Générateur des poids de buts](#)
- [6.3. Instruments de politique](#)
- [6.4. Elasticités et réponses](#)
- [6.5. Discussion et conclusions](#)
- [6.6. Références](#)

« The research for this publication was financed by the Netherlands' Minister for Development Co-operation. Citation is encouraged. Short excerpts may be translated and/or reproduced without prior permission, on the condition that the source is indicated. For translation and/or reproduction in whole the Section DST/SO of the aforementioned Minister should be notified in advance (P.O. Box 20061, 2500 EB The Hague). Responsibility for the contents and for the opinions expressed rests solely with the authors; publication does not constitute an endorsement by the Netherlands' Minister for Development Co-operation ».

Avant-propos

Pourquoi cet atelier ?

Depuis près de 2 ans l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) du projet PSS et l'équipe DLV (Université de Wageningen et Département des Recherches Agricoles) sont en train de développer des modèles afin d'aider les décideurs tant au niveau local que national à promouvoir des systèmes agricoles durables. La zone d'étude cible de l'EMS est la région soudano-sahélienne du Mali (300-900 mm), mais les deux équipes se sont concentrées sur l'étude de cas du cercle de Koutiala pour les raisons suivantes:

- 1) Les problèmes de gestion des ressources naturelles se posent avec acuité dans le cercle de Koutiala où la pression sur les ressources a été accentuée par le développement spectaculaire de la culture de coton et le réinvestissement des revenus du coton dans l'élevage.
- 2) L'Equipe de Recherche sur les Systèmes de Production Rurale de Sikasso est associée aux actions de recherche développement dans la zone et dispose de données importantes sur les unités de production.

Le développement des modèles est à un stade où il est possible de présenter les premiers résultats et les recommandations qui en découlent à l'attention de la recherche et du développement.

Objectifs de l'atelier

Le premier objectif de l'atelier est de faire connaître les modèles aux décideurs, car jusqu'à présent ces types de modèles ne sont guère utilisés dans le processus de décision politique. La raison peut être soit la méconnaissance de l'existence de ces modèles, soit la faible prise en compte des préoccupations des décideurs, soit les difficultés de compréhension des modèles trop techniques, soit le manque de confiance dans les théories à la base des modèles.

Un deuxième objectif est de recueillir à travers les débats les réactions des chercheurs et décideurs sur les aspects faiblement ou non incorporés dans l'approche modélisation afin d'adapter les modèles à leurs besoins.

A leur tour les organismes qui interviennent dans la zone de Koutiala seront invités à présenter le bilan de leurs actions visant un développement rural durable de la zone. Ainsi les politiques en cours et leurs résultats seront confrontés aux recommandations des modèles afin de formuler des axes d'intervention futures dans la zone.

En résumé l'atelier a comme objectif de :

- a) fournir aux spécialistes en modélisation des suggestions pour l'amélioration de leurs modèles:
 - en identifiant les omissions et les erreurs ;
 - en recensant les besoins des organismes d'intervention.
- b) permettre aux organismes de développement d'avoir une meilleure compréhension et appréciation de l'approche modélisation ainsi que des suggestions pour leurs actions futures.

Contenu du document

Le présent rapport présente successivement : les résultats préliminaires de l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) du projet ; ainsi que tous les autres documents présentés au cours de l'atelier. Il s'agit de :

- 1) *La programmation linéaire à buts multiples pour un développement durable dans le cercle de Koutiala : ressources, options techniques de production durable et premiers résultats* (K. Sissoko, E.-J. Bakker, M.S.M. Touré & W. Quak).
- 2) *Le rôle de la modélisation dans la planification des interventions qui visent un développement durable* (H. van Keulen).
- 3) *CMDT et Comité locale de développement de Koutiala : Aperçu du bilan et des perspectives des interventions pour résoudre les problèmes de développement au niveau du cercle de Koutiala (1975-2000)* (CMDT et CLD de Koutiala, présenté par Abdoul Kader Sissoko).

4) *Structure d'un modèle de simulation du développement agricole à Koutiala* (T.E. Struif Bontkes, UAW).

5) *Des actions de pré vulgarisation à des thèmes de recherche : Chronologie des Actions DRSPR dans la zone de Koutiala* (D. Kébé, Y. Koné & T. Defoer, ESPGRN-Sikasso).

6) *Modélisation des ménages paysans pour une utilisation durable des ressources du terroir : Estimation de l'efficacité des instruments de prix et du marché* (G. Kruseman, R. Ruben & H. Hengsdijk, DLV).

1. La programmation linéaire à buts multiples pour un développement durable dans le cercle de Koutiala : ressources, options techniques de production durable et premiers résultats

K. Sissoko, E.-J. Bakker, M.S.M. Touré & W. Quak

Equipe Modélisation des Systèmes, projet PSS/Niono.

1.1. Introduction

1.1.1. Présentation sommaire du projet PSS

Le projet Production Soudano-Sahélienne est un projet de coopération Mali/Pays-Bas dans le domaine de la recherche scientifique dont les activités ont démarré en 1991.

Les principaux objectifs du projet sont :

- contribuer au développement de systèmes de production durables et rentables ;
- renforcer la capacité de recherche locale à travers la formation des chercheurs nationaux.

Les responsables de son exécution scientifique sont : d'une part l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali et d'autre part un groupe d'instituts aux Pays-Bas dont :

- AB-DLO (Institut de Biologie Agronomique et de Fertilité du sol) ;
- UAW (Université Agronomique de Wageningen : Département Aménagement de la Nature et Département Economie du Développement).

1.1.1.1. Approche méthodologique générale

La zone d'étude cible du projet est la zone soudano-sahélienne limitée par respectivement au Nord et au Sud par les isohyètes 300 et 900 mm an⁻¹ de pluviométrie. Les contraintes majeures prévalant dans cette zone sont :

- la surexploitation des ressources due à la surpopulation homme/bétail ;
- la pauvreté des sols et des pâturages en éléments nutritifs, notamment le déficit d'azote et du phosphore ;
- la carence de fourrage d'une qualité acceptable et en quantité suffisante, notamment en saison sèche, qui constitue le problème clef de l'élevage.

L'approche de recherche est basée sur le fait que pour avoir des systèmes de production durables, il faut nécessairement trouver la solution à ces contraintes. D'où la nécessité d'intensifier les systèmes de production (activités de cultures et d'élevage) à travers l'utilisation d'intrants extérieurs. Selon Piéri (1981), « L'intensification des cultures fourragères et de certaines cultures est la solution la mieux indiquée pour d'une part augmenter la production fourragère sur les exploitations en utilisant des parcelles uniquement pour les monocultures de fourrage et pour d'autre part assurer une plus forte production à l'unité de surface de résidus de récolte ».

Ainsi la recherche menée au sein du Projet PSS est orientée de manière générale sur la rentabilisation de l'utilisation des intrants azotés et phosphatés dans la production primaire (cultures) et secondaire (animaux).

1.1.1.2. Organisation scientifique

Pour atteindre les objectifs, trois équipes de recherche ont été ainsi mises en place pour l'exécution de programmes de recherche dans trois domaines :

- la production fourragère ;
- l'exploitation fourragère (nutrition animale) ;
- la modélisation des systèmes.

Une équipe d'appui composée de chercheurs des instituts aux Pays-Bas fait des missions d'appui scientifique aux équipes de recherche localisées au Mali.

Les activités de recherche dans le domaine de la production fourragère concerne l'optimisation quantitative de l'utilisation des entrants externes (azotés et phosphatés) dans le système sol-plante (coefficient d'utilisation).

La recherche dans le domaine de l'exploitation fourragère (nutrition animale) est orientée principalement sur l'utilisation optimale de l'azote par la supplémentation directe ou indirecte des fourrages grossiers de faible qualité dans le système plante-animal.

Les activités de recherche en modélisation des systèmes menées visent la définition et l'évaluation économique des activités agro-pastorales du système sol-plante-animal, afin de mettre au point des paquets technologiques durables et rentables et d'étudier les conditions socio-économiques favorables à l'intensification.

Le présent document concerne les résultats préliminaires de l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS).

1.1.2. L'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS)

Les objectifs spécifiques de cette équipe sont :

- étudier la rentabilité économique de l'utilisation des intrants (azotés et phosphatés) dans l'intensification de l'agriculture et de l'élevage en zone soudano-sahélienne, en identifiant les options ou innovations techniques permettant de rentabiliser l'utilisation directe ou indirecte de ces intrants ;
- analyser les conditions socio-économiques permettant de favoriser la rentabilisation de l'utilisation des intrants ;
- analyser et vérifier la fiabilité et l'applicabilité des options techniques rentables au niveau petite région et au niveau ferme.

1.1.2.1. Méthodologie générale de l'EMS

La méthodologie adoptée par l'équipe modélisation des systèmes pour atteindre les objectifs de recherche (Tableau 1.1), utilise le modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM) comme instrument d'analyse économique des systèmes de production à différents niveaux :

- grande région (zone soudano-sahélienne) ;
- petite région (cas cercle de Koutiala) ;
- ferme (typique dans le cercle de Koutiala).

Tableau 1.1. Les différentes étapes de la méthodologie générale de recherche de l'EMS.

a) *Ressources* (naturelles et humaines) : description à différents niveaux :

- ressources région soudano-sahélienne ;
- ressources cercle de Koutiala ;
- ressources ferme.

b) *Activités* : définition, description quantitative et analyse économique :

- activités de culture (mil, sorgho, maïs fonio, arachide, niébé) ;
- activités d'utilisation des résidus agricoles ;
- activités d'élevage (bovins et autres).

c) *Modélisation* : élaboration du modèle PLBM et analyses :

- au niveau régional : région soudano-sahélienne du Mali ;
 - au niveau petite région : cas du cercle de Koutiala ;
 - au niveau ferme.
-

Le modèle de programmation linéaire à buts multiples est un instrument qui permet d'une part d'analyser et de dégager au niveau des activités agro-pastorales, les différentes options techniques pour lesquelles la rentabilisation de l'utilisation des intrants azotés et phosphatés est possible.

D'autre part le modèle permet de définir en fonction des conditions socio-économiques et agro-écologiques des stratégies de développement (ou combinaisons optimales d'activités) au niveau macro-économique (nation, grande et petite région) et micro-économique (ferme), permettant une utilisation optimale des ressources disponibles pour la production agricole et animale. Car au niveau d'un pays ou d'une région il y a toujours un conflit entre la multitude d'objectifs de développement rural quand à l'allocation des ressources naturelles.

Les pièces maîtresses de ce modèle PLBM sont des activités définies et décrites de cultures et d'élevage, qui seront incluses et analysées avec ce modèle PLBM. Ce dernier déterminera les combinaisons optimales des activités en fonction des ressources disponibles et des objectifs de développement.

Pour élaborer et faire fonctionner ce modèle PLBM il faut au préalable décrire les ressources disponibles, définir et décrire des activités et définir les objectifs et scénarios de développement.

Le Chapitre 1.2 présente une description des ressources naturelles (climat et sols) et des ressources humaines (population et main-d'oeuvre). La méthodologie de définition et de description quantitative et d'analyse économique partielle des activités est développée dans le Chapitre 1.3.

L'élaboration du modèle PLBM et son utilisation composent le Chapitre 1.4. Le corps du modèle a été développé, et sera utilisé pour les trois niveaux (région soudano-sahélienne, petite région, ferme). La génération des coefficients techniques, la formulation des objectifs ainsi que les analyses se feront à chaque niveau.

1.1.2.2. L'état actuel des résultats de recherche

Seules six cultures ont été considérées pour le moment. Il s'agit de : arachide, coton, mil, sorgho, maïs, niébé. Les cultures fourragères (niébé, stylo et *Andropogon*) ainsi que le riz seront incluses bientôt. Quand à l'élevage, seules les activités bovines ont été définies, les petits ruminants n'ont pas encore été pris en compte. D'autres types d'activités tels que la production de bois, seront aussi considérés ultérieurement.

Ce document ne présente que les résultats préliminaires du modèle au niveau petite région et ferme. Présentement les résultats des analyses du modèle au niveau région soudano-sahélienne ne sont pas disponibles, car la génération de tous les coefficients techniques du modèle au niveau régional n'est pas encore terminée. Et même les résultats aux premiers deux niveaux mentionnés devront être regardés plutôt pour comprendre le potentiel de la méthodologie que pour leur utilisation pratique et directe.

1.2. Ressources dans le cercle de Koutiala

Ce sont les ressources utilisées dans l'élaboration et le fonctionnement du modèle PLBM qui ont été décrites ci-dessous.

1.2.1. Ressources humaines : population et main d'oeuvre

Le Tableau 1.2 présente quelques données socio-géographiques du cercle. Le cercle de Koutiala a subi une très forte augmentation de la population nettement supérieure à la moyenne nationale de 1,9 %. La population rurale représente 78 % de la population totale du cercle. La population masculine et féminine représente respectivement 49 % et 51 % de la population totale (Tableau 1.3). Le nombre d'actifs total considéré est de 55% de la population totale du cercle soit 157.434 actifs.

Tableau 1.2. Population du cercle de Koutiala.

<i>Cercle de Koutiala (arrondissements + commune)</i>	
superficie (km ²)	9100
population en 1987 (hbts)	286.244
densité de population en 1987 (habitants km ⁻²)	31,5
accroissement annuel de la population de 1976 à 1987 (%)	+3,3
nombre de villages	231
nombre d'hectares par habitant (ha habitant ⁻¹)	3,2

Tableau 1.3. Répartition de la population totale par sexe et selon le lieu de résidence dans le cercle de Koutiala.

	Population totale (nombre d'habitants en 1987)		Totaux
	masculin	féminin	
Ruraux	109.427	114.371	223.798
Urbains	31.382	31.174	62.556
totaux	140.809	145.545	286.244

1.2.2. Ressources naturelles

1.2.2.1. Classification PIRT

Le climat de la région est du type nord-soudanien avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ

900 mm dans une année normale.

Pour la description et distribution des sols dans le cercle de Koutiala nous nous sommes largement basés sur l'inventaire des ressources terrestres fait par le projet PIRT (PIRT, 1983a, b, c). Dans la classification de PIRT 68 unités sol/végétation ont été distinguées réparties en 10 grands groupes :

- D Dunes mortes ;
- DA Dunes aplanies ;
- PA Plaines avec matériaux argileux ;
- PL Plaines avec matériaux limoneux fins ;
- PS Plaines avec matériaux limono-sableux ;
- TC Terrains sur cuirasse latéritique ;
- TH Terrains hydromorphes, faiblement ou non inondés ;
- TI Terrains inondés ;
- TR Terrains rocheux ;
- X Terrains spéciaux.

1.2.2.2. Classification PSS

Pour notre définition et description quantitative des activités un niveau de détail comme celle du PIRT n'est pas utile, parce qu'elle tient compte des caractéristiques assez sensibles au changement, tandis que dans l'exploration des possibilités des systèmes de production durable il est mieux de fixer des seuils à maintenir pour certaines caractéristiques fragiles.

Les caractéristiques de distinction retenues sont stables et sont surtout choisis à cause de leur influence sur la quantité d'eau disponible pour la culture. Ce sont : texture, profondeur, présence de gravillons et aptitude d'être inondé. De cette façon les 68 unités sol/végétation de PIRT ont été regroupées en 12 types de sols (sols PSS) apte pour la production primaire et 2 substrats non-utilisable pour ce but. Dans le cercle de Koutiala on en trouve principalement 5, qui correspondent aux 10 sols PIRT. Ils sont présentés dans le Tableau 1.4 avec leur importance dans le cercle.

Tableau 1.4. Les sols de PIRT, leur répartition dans le cercle de Koutiala et leur correspondance avec les sols PSS.

Sol PIRT	superficie km ²	%	sol PSS	superficie km ²	%
TC4	1834	20	GR	1918	21
TC7	84	1			
TC5	3721	41	GR_su	3721	41
T13	272	3	IN_ar	272	3

PL9	2406	27	LIAR	2883	32
PL10	274	3			
PL11	154	2			
PL13	24	0			
TH3	24	0			
PS3	282	3	LISA_f	282	3
total	9076				

Les sols PSS dans le cercle de Koutiala sont :

Sol gravillonnaire peu profond (GR)

Ce sol est assez importante dans le cercle avec une occupation de 21 %. Il consiste pour 95 % du sol TC4 du PIRT. Malgré un taux élevé de plus de 40 % de gravillons et un profondeur qui n'atteint presque jamais 50 cm, ce sol est utilisé pour presque toutes les cultures.

Sol gravillonnaire très superficiel (GR_su)

Ce sol correspond au sol TC5 du PIRT. Avec une taux de couverture de 41 % il est le sol le plus fréquent du cercle. Ses caractéristiques (taux de gravillons de jusqu'à 75 %, profondeur de moins de 20 cm) sont telle que il n'est qu'apte pour le pâturage.

Sol inondable argileux (IN_ar)

Ce sol n'occupe que 3 % du cercle et se présente dans les vallées à inondation saisonnière. Il correspond au sol TI3 du PIRT. Par l'apport d'eau de ruissellement des sols en amont ils ont des bonnes possibilités pour l'intensification à condition que l'engorgement peut être maîtrisé. Le mil et l'arachide ne sont pas cultivés sur ce sol à cause de ce risque d'engorgement.

Limon argileux (LIAR)

Le limon argileux est le deuxième sol important du cercle avec une occupation de 32 %. Il correspond au quelques sols du groupe « plaine avec matériaux limoneux fin » du PIRT. De ce groupe le sol PL9 est le plus fréquent avec 85 %. Ce sol peut porter toutes les cultures. Par sa position en aval des sols gravillonnaires il reçoit de l'eau de ruissellement.

Limon sableux avec couche supérieure assez fin (LISA_f)

Ce sol qui correspond au PS3 du PIRT, n'est pas important dans le cercle où il n'occupe que 3 %. Il est apte pour toutes les cultures.

Les sols retenus sont présentés dans Tableau 1.5 avec leurs caractéristiques utilisées dans la déterminations des coefficients techniques. Leur signifiante est traités dans le chapitre sur la description des activités.

Tableau 1.5. Données sur les sols PSS utilisées pour la génération des coefficients techniques des

activités.

Caractéristiques du sol		Type de sol						
		EC	GR	GR_su	LIAR	LILI	LISA_f	
Profondeur	cm	200	46	18	200	200	200	
Pente	%	2	3	4	2	2	2	
Texture								
	sous-sol							
	sable	%	23	42	43	35	12	58
	limon	%	40	35	43	37	58	17
	argile	%	37	24	15	29	30	25
	gravillon	%	0	54	75	0	0	0
	couche supérieure							
	sable	%	28	60	43	60	40	63
	limon	%	52	30	43	29	42	27
	argile	%	20	11	15	11	18	10
	gravillon	%	0	9	38	0	0	0
	sable fin	%	14	30	22	31	20	32
	limon fin	%	20	11	16	11	16	10
Caractéristiques hydriques								
	plan infiltration							
	sorptivité	(mm/min ^{1/2})	0	1	1	1	1	1
	capacité de stockage	(mm)	0	1	1	1	1	1
	plan percolation							
	capacité au champ	mm/m	407	138	77	348	461	231
	point de flétrissement	mm/m	215	58	24	167	174	145
Données pour l'Equation Universelle de Perte en Sol (Wischmeier et Smith, 1978)								
	perte tolérée	t/ha/an	10	5	3	10	10	10
	perméabilité	-	5.0	4.0	4.0	4.0	4.6	3.2
	structure	-	3.0	3.0	2.0	3.5	3.0	3.5
	P facteur pour contouring	-	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6

Caractéristiques chimiques

pH								
couche superieur	-	5.8	5.7	5.3	5.5	6.6	6.3	
sous-sol	-	6.2	5.2	6.3	5.2	6.1	5.8	
P total	mg/kg	125	100	100	125	100	110	
K assimilable	mg/kg	100	50	50	100	75	75	
Fixation de P		M	M	F	M	M	M	
Taux de matière organique cible	%	2.2	1.3	1.7	1.3	1.9	1.2	

Aptitude de substrats pour les cultures

mil		+			+	+	+
sorgho	+	+			+	+	+
mais	+	+			+	+	+
niébé	+	+			+	+	+
arachide		+			+	+	+
coton	+	+			+	+	+
pâturage	+	+	+		+	+	+

1.3. Activités

1.3.1. Approche de définition des activités

Pour l'exploration et l'analyse des possibilités pour l'utilisation des ressources de la région avec un modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM) on a besoin des pièces maîtresses avec lesquelles ces différentes possibilités peuvent être décrites. Nous appelons ces pièces maîtresses « activités ».

Une activité peut être considérée comme un processus dans lequel une combinaison spécifique d'intrants abouti à une combinaison spécifique d'extrants. Comme intrants on distingue les intrants primaires (ressources naturelles, humaines et financières) et intermédiaires (les extrants d'autres activités). Comme extrants il y a les extrants finaux (productions pour satisfaire des buts nationaux ou individuels) et intermédiaires (intrants pour d'autres activités). A l'aide de ces pièces maîtresses les possibilités et les interactions de la production agro-pastorale d'une région peuvent être schématisées. Un schéma simple est présenté dans la Fig. 1.1. Dans cette figure deux types d'activité (culture et élevage) font la compétition pour les mêmes ressources comme intrants ; elles établissent une interaction à travers leurs sous-produits.

Figure 1.1. Diagramme relationnelle de deux types d'activités représentant leur compétition pour les mêmes ressources et leur interaction à travers des sous-produits.

Nous voulons explorer les possibilités d'une région, par conséquent il ne suffit pas de décrire des activités agro-pastorales actuelles, mais il faut surtout décrire des activités qui pourraient constituer des alternatives pour les buts que l'on veut atteindre. Nous les cherchons sur les voies d'intensification et d'intégration de l'agriculture et de l'élevage. En outre, dans un sens, toutes les activités que nous offrons au modèle, sont alternatives, parce que contrairement aux activités actuelles qui presque toujours exploitent les ressources en sol (van der Pol, 1992), les activités offertes tiennent compte de l'exigence de durabilité.

Si l'on veut parler d'une activité spécifique les caractéristiques de cette activité doivent être connues. Ces caractéristiques, souvent appelées « critères de définition », sont d'une part le milieu (climat, sol) dans lequel l'activité est exécuté et d'autre part les techniques avec lesquelles elle est exécutée. Les critères de définition pour les activités de culture sont données dans le Tableau 1.6 comme exemple.

Tableau 1.6. Critères des activités de culture.

climat	sol	culture	intensité	mécanisation	type de labour	paillage
nord-soudanien	limon sableux limon argileux gravillonnaire gravillonnaire superficiel inondé saisonnièrement	mil sorgho maïs arachide niébé coton	extensive semi-intensive intensive	non oui	à plat billons billons cloionnées	non oui

Les intrants et extrants des activités définies sont présentés dans ce que nous appelons « tableaux intrants/extrants ». Comme exemple les quatre activités de culture choisies par le modèle PLBM en maximisant le revenu net et assurant l'autoconsommation du cercle de Koutiala sont présenté au Tableau 1.7.

Tableau 1.7. Tableaux intrants/extrants de quatre activités de culture.

Variables de définition		Valeurs pour les variables de définition			
climat		Koutiala	Koutiala	Koutiala	Koutiala
sol		gravillonnaire	limon argile	limon argile	limon sableux
culture		niébé	coton	niébé	maïs

intensité		intensive	intensive	intensive	intensive
mécanisation		oui	oui	oui	oui
pailage		non	oui	non	non
type de labour		à plat	à plat	à plat	à plat
EXTRANTS					
produit principale (ferme)	kg/ha	876	2720	2902	5976
résidu (champ)	kg/ha	1289	0	4902	4445
MOST (ferme)	UMO/ha	6	0	21	26
N (ferme)	kg/ha	1	0	3	2
P (ferme)	kg/ha	0	0	0	0
K (ferme)	kg/ha	1	0	2	6
capacité de récupérer de l'azote	kg/ha	0	0	0	2
INTRANTS					
capital	FCFA/ha	24746	29544	23027	29537
MOST (champ)	UMO/ha	133	72	167	134
N (champ)	kg/ha	14	130	68	181
P (champ)	kg/ha	8	20	28	25
K (champ)	kg/ha	39	22	131	70
main d'oeuvre					
avril 1	homme/ha	0.0	0.1	0.0	0.2
avril 2	homme/ha	0.0	0.1	0.0	0.2
avril 3	homme/ha	0.0	0.3	0.0	0.2
mai 1	homme/ha	0.0	0.6	0.0	0.2
mai 2	homme/ha	0.0	0.7	0.0	0.2
mai 3	homme/ha	0.0	0.8	0.4	0.2
juin 1	homme/ha	0.0	0.9	0.9	0.2
juin 2	homme/ha	0.0	0.8	0.7	0.2
juin 3	homme/ha	0.0	0.1	0.7	1.2
juillet 1	homme/ha	1.1	0.1	0.2	0.9
juillet 2	homme/ha	0.9	0.1	0.2	1.0
juillet 3	homme/ha	0.8	0.1	0.2	0.4
août 1	homme/ha	0.3	0.1	0.2	0.4

aout 2	homme/ha	0.3	0.1	0.2	0.4
aout 3	homme/ha	0.3	0.1	0.2	0.4
septembre 1	homme/ha	0.3	0.1	0.2	0.4
septembre 2	homme/ha	0.3	0.1	0.2	0.4
septembre 3	homme/ha	0.4	0.1	0.2	0.4
octobre 1	homme/ha	0.5	0.1	0.2	0.4
octobre 2	homme/ha	0.5	0.1	1.6	0.4
octobre 3	homme/ha	0.0	0.1	1.7	0.4
novembre 1	homme/ha	0.0	0.1	0.1	4.3
novembre 2	homme/ha	0.0	0.1	0.0	0.8
novembre 3	homme/ha	0.0	3.4	0.0	0.2
decembre 1	homme/ha	0.0	3.7	0.0	0.2
decembre 2	homme/ha	0.0	3.7	0.0	0.2
decembre 3	homme/ha	0.0	0.3	0.0	0.2
janvier 1	homme/ha	0.0	0.0	0.0	0.2
janvier 2	homme/ha	0.0	0.1	0.0	0.2
rest de l'année	homme/ha	0.0	0.1	0.0	0.2
boeuf de labour					
mai 2	boeuf/ha	0.0	0.5	0.0	0.0
mai 3	boeuf/ha	0.0	1.1	0.5	0.0
juin 1	boeuf/ha	0.0	0.2	1.1	0.0
juin 2	boeuf/ha	0.0	0.3	0.5	0.1
juin 3	boeuf/ha	0.0	0.0	0.2	1.3
juillet 1	boeuf/ha	1.4	0.0	0.0	0.7
juillet 2	boeuf/ha	0.8	0.0	0.0	0.3
juillet 3	boeuf/ha	0.2	0.0	0.0	0.0
aout 1	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0
aout 2	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0
aout 3	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0
septembre 1	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0
septembre 2	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0
septembre 3	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0

octobre 1	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.0
octobre 2	boeuf/ha	0.0	0.0	0.1	0.0
octobre 3	boeuf/ha	0.0	0.0	0.1	0.0
novembre 1	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.5
novembre 2	boeuf/ha	0.0	0.0	0.0	0.1
novembre 3	boeuf/ha	0.0	0.1	0.0	0.0
decembre 1	boeuf/ha	0.0	0.1	0.0	0.0
decembre 2	boeuf/ha	0.0	0.1	0.0	0.0

1.3.1.1. Les types d'activité et leurs interrelations à travers les intrants/extrants

Etant seulement un processus de transformation d'intrants en extrants, rien n'est dit sur la complexité de l'activité. Les activités peuvent alors être complexes ou simples. Les activités complexes peuvent être considérées comme étant construites de plusieurs activités simples. Dans la construction d'un réseau des types d'activités la principale question que l'on peut se poser est : comment couper la grande activité « production de la région » en activités qui décrivent les possibilités de la production agricole et pastorale d'une telle façon que leur intégration peut être inventoriée et leur durabilité peut être gardée ?

En matière d'intégration et de durabilité des activités les sous-produits constituent le facteur clé. Car ce sont les sous-produits de l'agriculture (paille) et de l'élevage (fumier) qui établissent les liens entre les deux types d'activités et qui contiennent les facteurs principaux pour une durabilité écologique : la matière organique et les éléments nutritifs. A cause de cette intérêt pour les sous-produits nous avons distingués à coté des activités de culture et d'élevage, des activités de transformation des sous-produits.

En plus, sur le plan d'élevage on a besoin des activités qui offrent du fourrage et sur le plan agriculture des activités qui offrent des éléments nutritifs et/ou de la matière organique.

Les types d'activités que nous avons ainsi retenu sont :

- culture ;
- brûlis des résidus au champ ;
- enfouissement des résidus au champ ;
- transport des résidus à la ferme ;
- transport du fumier au champ ;
- jachère ;
- production de pâturage ;
- élevage en troupeau ;
- élevage d'embouche ;
- fabrication de litière ;
- achat d'engrais ;
- achat de supplément.

La manière dont ces activités sont liées est présentée dans la Fig. 1.2 qui constitue donc un diagramme relationnel pour les types d'activités définis. Les différents types d'activité qui y figurent sont traités dans 1.3.2. Il est à noter que pour ne pas trop compliquer le diagramme, il n'y a que les produits intermédiaires qui sont présentés.

Les caractéristiques des types d'activité (critères de définition, unités et produits intrants/extrants) sont résumés dans [l'Annexe 1.1](#).

[Figure 1.2](#). Diagramme relationnelle des activités avec leurs produits intermédiaires.

1.3.1.2. Activités, systèmes de production et durabilité

Chaque combinaison des activités qui sont exécutées dans la région en étude, peut être considérée comme un système de production. Parce que nous voulons rechercher les possibilités d'utiliser les ressources d'une région d'une façon durable, les systèmes de production doivent être durables. Qu'est-ce que nous entendons par « durable ». Bien de définitions de durabilité existent. Pour nous une définition pratique suffit : un système de production est durable si la disponibilité en ressources ne change pas en quantité et qualité pendant un cycle de production.

Les ressources utilisées par les activités sont climat, terre, main d'oeuvre et capital. Le climat en tant que tel n'est pas une vraie ressource, mais il est une notion qui englobe les intrants énergie et eau de pluie, les facteurs nécessaires pour la production primaire. Ces intrants peuvent gratuitement être exploités. Mais ceci ne nous empêche pas de maintenir l'exigence de durabilité pour le climat dans la mesure où l'homme dans la zone soudano-sahélienne peut y influencer, par exemple par la mauvaise gestion de la couverture végétale.

Etant donné que la quantité de terre (superficie) ne peut pas disparaître, l'exigence de durabilité joue, quant à la terre, sur la qualité. De cette qualité nous nous fixons seulement sur les paramètres fragiles de qualité, qui sont le taux de la matière organique et les disponibilités en éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) en supposant que le maintien d'un certain taux de la matière organique peut tamponner l'effet acidifiant des engrais appliqués. Quant au phosphore et potassium, la diminution des stocks minéraux par effritement n'est pas prise en compte à cause des transformations assez lentes et la grandeur relative de ces stocks par rapport aux quantités disponibles pour la plante. Le maintien de la profondeur n'est pas garanti pour l'éternité mais un seuil de perte de sol toléré doit empêcher une érosion trop rapide.

Quant à la main-d'oeuvre nous pouvons dire qu'un système durable doit pouvoir nourrir ses actifs ainsi que ses non-actifs et doit produire un certain niveau de revenu pour les autres besoins de la vie (soins de santé, habitation, loisirs). En plus, la durabilité n'est assurée que si le capital investi (achats des consommables et amortissement des matériaux) est récupéré par la vente des produits. Il est à noter que l'exigence qu'une région doit nourrir ses habitants ne signifie pas forcément que toute la nourriture y doit

être produite. Elle peut s'être procurée des autres régions avec le revenu des produits vendus. L'exigence d'un bilan alimentaire et financier équilibré se pose sur la région entière, tandis que l'exigence d'un bilan équilibré de la matière organique et des éléments nutritifs du sol se pose par sa nature toujours au niveau de chaque type de sol.

1.3.1.3. Les intrants et extrants des activités de la région

Afin de faciliter la compréhension des chapitres suivants qui traitent les différents types d'activités il nous semble utile d'explicitier les intrants et extrants.

Pour les produits intrants/extrants nous distinguons les intrants primaires, dites ressources, les extrants primaires, dites produits finaux et les produits intermédiaires qui sont l'extrant d'une activité et l'intrant d'une autre. Pour les produits intermédiaires nous faisons une distinction en fonction de là où ils se trouvent, au champ ou à la ferme. Il est à noter que dans ce cas nous utilisons la signification restreinte du mot « ferme », c'est-à-dire la ferme comme concession (maison, parc, étable). Cette distinction est faite parce que c'est souvent à travers la ferme que les produits venant du champ sont redistribués.

Les ressources étant décrites dans le Chapitre 2, il nous reste à explicitier les produits finaux et intermédiaires. Produits finaux

Les produits finaux de l'agriculture sont les graines des cultures vivrières et le coton-grain. Les produits principaux sont considérés toujours au niveau de la ferme, ceci implique que les coûts de transport du champ à la ferme des produits de cultures sont escomptés dans l'activité même.

Pour l'élevage les produits finaux sont la viande et le lait s'il s'agit d'élevage en troupeau et seulement la viande s'il s'agit d'élevage en embouche.

Ces extrants de l'agriculture et de l'élevage peuvent être auto-consommés et/ou être vendus.

Produits intermédiaires

- *Résidu/fourrage* : Les résidus au champ sont extrants seulement des activités de culture. Il s'agit de la paille des cultures vivrières et des tiges de coton. Les résidus laissés au champ peuvent être brûlés, enfouis, broutés ou transportés à la ferme.

Les résidus à la ferme sont extrants de l'activité de transport des résidus à la ferme. Arrivés à la ferme, ils peuvent être utilisés comme fourrage ou comme litière.

- *Matière organique standard (MOST)* : Parce que les différents produits organiques qui peuvent être appliqués aux champs n'ont pas la même capacité de maintenir le taux de matière organique dans le sol, il nous a paru utile d'uniformiser en terme de qualité ces différents produits. C'est pourquoi nous introduisons la notion de la matière organique standard (MOST). Par notre définition une Unité de Matière Organique standard (UMO) doit avoir la capacité de maintenir un taux de matière organique de

1% dans les premiers 20 cm d'un hectare d'un sol argileux pendant un jour d'activité microbienne optimale.

A l'aide de cette définition le besoin annuel en matière organique standard d'un sol cultivé (en UMO ha⁻¹) est facile à déterminer : il suffit de connaître :

- le taux de matière organique dans le sol que l'on veut maintenir (éventuellement corrigé pour une autre profondeur) ;
- le nombre de jours d'activité microbienne optimale, qui a été estimé avec le nombre de jours dans la saison pluvieuse multiplié avec 0,4 ;
- la texture du sol : par rapport à un sol argileux le besoin en MOST d'un sol sableux est 1,6 fois élevé.

Concernant la matière organique, il nous faut connaître la MOST (Valeur des produits organiques apportés), c'est-à-dire dans quelle mesure ces produits organiques peuvent atteindre cette capacité d'une UMO. Cette MOST (en UMO kg⁻¹) dépend de la composition en fibres (lignine, (hemi-)cellulose) du produit. Une relation entre composition en fibres et MOST (en valeur) a été dérivée du modèle de la dynamique de la matière organique dans le sol de Verberne *et al.* (1990). Par exemple la paille de mil a ainsi une MOST (en valeur) de 0,04 UMO kg⁻¹.

Pour maintenir alors un taux de 1,5 % sur un sol argileux dans une zone avec une saison de pluie de 120 jours il faut un apport annuel de (0,4 x 120 x 1,5) soit 72 UMO ha⁻¹. Si cet apport vient de la paille de mil exclusivement, il nous faut un apport annuel de 72/0,04 soit 1800 kg ha⁻¹ de mil.

La MOST au niveau du champ est produite par la jachère, à travers l'enfouissement et le fumier excrété par les troupeaux qui broutent sur les résidus et par le transport de fumier (de la ferme) au champ. La seule activité qui utilise de la MOST est l'activité de culture. La MOST au niveau de la ferme est produite par l'activité de culture à partir des résidus de battage et vannage et par les activités d'élevage à partir de leurs fumiers déposés aux parcs et à travers de fabrication de litière.

- *Eléments nutritifs* : Les éléments nutritifs N, P et K correspondent à l'azote, phosphore et potassium pur d'une forme in-organique. Les N, P et K organiques sont traduits en forme in-organique en utilisant des coefficients d'efficacité des éléments nutritifs organiques. Elles sont pour le N, P et K respectivement 0,6 ; 1,25 et 1,0.

Le N, P et K au champ est produit par les mêmes activités qui produisent la MOST. En plus il y a l'activité de brûlis des résidus qui ne produit pas de la MOST et l'activité d'achat d'engrais. L'activité de production de culture est, comme pour la MOST, la seule activité qui l'utilise. Le N, P et K à la ferme est produit par les mêmes activités produisant de la MOST. Il est transporté au champ comme composante du fumier.

Pour l'azote une situation spéciale se présente qui mérite d'avoir une brève explication. L'azote excrété par les animaux est en moyenne pour 50 % volatile (Krul *et al.* (1982 ; p. 244). Lorsque cette partie est déposée au champ elle se volatilise, mais déposée au parc elle peut être récupérée si les excréments sont

bien piétinés et mélangés avec des résidus de récolte d'un quotient C/N élevé. Ce mélange est fait dans l'activité de fabrication de litière. De cette façon, une grande partie de l'azote volatile peut être récupérée.

- *Boeuf de labour* : Pour les cultures attelées les activités de production de culture ont besoin des boeufs de labour qui sont produits dans les activités d'élevage en troupeau.
- *Boeuf d'embouche* : L'activité d'embouche se procure de ses animaux à partir des activités d'élevage en troupeau.

Dans le reste de ce chapitre sur les activités, les différents types d'activités seront présentés avec leurs critères de définition et produits intrants/extrants. Nous commençons par les activités de culture parce qu'elles comprennent la plupart des critères et produits.

1.3.2. Activités de culture

Les activités de culture sont des activités de production agricole qui présente les différentes possibilités d'utiliser la terre pour en produire des extrants qui peuvent être consommés ou vendus directement. Elles aussi produisent des sous-produits.

1.3.2.1. Définition des activités

La définition des activités est fait sur la base des critères de définition. Les critères environnementaux des activités de culture sont sous-zone et sol, les critères techniques sont culture, niveau d'intensité, mécanisation, type de labour et paillage. Les différents critères seront d'abord explicités. La méthode de quantification des intrants et extrants à partir de ces critères sera ensuite étayée.

Critères environnementaux

- *Sous-zone/climat* : La sous-zone représente une zone climatologique qui joue sur le rendement, le calendrier agricole et le besoin en matière organique et éléments nutritifs. Les paramètres climatologiques utilisés ont été présentés déjà dans le chapitre sur les ressources.

Le cercle de Koutiala fait partie d'une seule sous-zone des 15 sous-zones distinguées pour la zone soudano-sahélienne du Mali.

- *Sol* : Le type de sol influe sur les mêmes coefficients techniques que le climat. Pour le cercle de Koutiala nous avons retenu 5 types de sol. Les critères de choix et leurs caractéristiques ont été présenté dans le chapitre sur les ressources.

Critères techniques

- *Culture* : Les cultures qui rentrent dans l'exploration et l'analyse des possibilités sont d'abord les cultures principaux de la région : mil, sorgho, maïs, arachide et coton ; la culture de niébé a été incluse

par son intérêt comme culture fourragère et culture amélioratrice du sol. Bien qu'il soit vrai que le niébé est souvent cultivé en association avec une céréale, nous n'avons pas encore pu inclure cette association dans les activités de production de culture. Cependant, l'effet amélioratrice au sol que le niébé peut avoir si les fanes sont enfouies est pris en compte à travers les activités d'enfouissement.

- *Niveau d'intensité* : Le niveau d'intensité de la production de culture indique surtout la mesure dans laquelle on s'approche au rendement qui n'est plus limité par la disponibilité en éléments nutritifs, mais seulement par la disponibilité en eau. Nous nous limitons alors toujours aux cultures pluviales. De cette manière trois niveaux ont été choisis : Au niveau intensif le rendement peut s'approcher de 80 % du rendement limité par la disponibilité en eau. Nous supposons que les 20 % de perte se réalisent surtout par d'autres effets (maladies, insectes) qui sont presque inévitables. Au niveau extensif le rendement est surtout déterminé par la disponibilité en éléments nutritifs. Un niveau semi-intensif est fixé au milieu de ces deux niveaux.

La plupart des cultures, sauf le coton, dans la région sont cultivées avec peu d'intrants, donc au niveau extensif. Des niveaux plus élevés sont choisis parce que nous pensons que dans certaines conditions l'intensification peut aider à atteindre des buts de développement.

Si l'on monte du niveau extensif vers le niveau intensif en abolissant de plus en plus la contrainte de la disponibilité en éléments nutritifs il est en même temps nécessaire d'adapter l'itinéraire technique pour éviter que d'autres facteurs comme qualité du lit de semences, mauvaises herbes et insectes ne deviennent limitatifs pour la production. C'est pourquoi le niveau d'intensité n'implique pas seulement le niveau de rendement, mais également les types des opérations agricoles à exécuter.

- *Mécanisation* : La mécanisation fait la distinction entre culture à la main et culture attelée. Cette distinction n'est faite qu'au niveau extensif en supposant que l'agriculture aux niveaux d'intensité plus élevés n'utilisent que la culture attelée.

- *Paillage* : Les activités de production des céréales et coton peuvent utiliser leurs résidus pour le paillage afin de réduire les pertes par érosion. Si le paillage n'est pas pratiqué, les résidus restent sur le champ et peuvent être utilisés par les activités de transformation.

- *Type de labour* : Comme il a été démontré par Stroosnijder & Hoogmoed (1984), le billonnage peut réduire substantiellement la perte d'eau par ruissellement. Par cela le rendement peut augmenter et l'érosion peut diminuer. En fonction du climat, du type de sol et de la résistance contre l'engorgement de la culture, des choix peuvent être faits pour un labour à plat, en billons simples ou en billons cloisonnés.

1.3.2.2. Description quantitative

La description quantitative des activités est faite à l'aide des coefficients techniques ou valeurs des intrants et extrants. Ici, une brève description qualitative est donnée par produit (intrant et extrant). L'approche pour les activités de culture est de fixer d'abord les niveaux de rendements et ensuite d'en

dériver les niveaux des intrants. Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par hectare.

Extrants

Rendement principal : Le rendement du produit principal est déterminé par la production de biomasse totale et sa répartition sur les organes de la plante. La production de la biomasse dépend des facteurs de production qui limitent la production. D'abord nous présentons l'approche de détermination de la production limitée seulement par la disponibilité en eau. Il est à noter qu'il existe de nombreuses méthodes de calcul de ces rendements. Compte tenu de la fiabilité des autres paramètres une approche assez grossière suffit.

Dans une situation d'agriculture pluviale, l'eau qui est disponible pour la plante est l'eau de pluie moins l'eau ruisselée, percolée et évaporée. Pour le calcul de l'eau disponible la fraction ruisselée est d'abord déterminée. Elle est calculée selon une méthode élaborée dans de Ridder *et al.* (1991) qui s'est basée sur Stroosnijder & Koné (1982), Stroosnijder & Hoogmoed (1984) et Hoogmoed & Stroosnijder (1984). Les caractéristiques du sol qui y influent sont sorptivité et capacité de stockage. Cette dernière peut être augmentée par le billonnage normale ou cloisonné. Le climat intervient par la répartition des hauteurs des pluies.

La percolation est estimée à partir d'une formule de régression donnée dans de Ridder & Breman (1991, p. 120) qui tient compte de l'infiltration, la profondeur du sol enracinée et la teneur en eau à la capacité au champ.

Ensuite le début et la fin de la saison agricole potentielle sont estimés en confrontant le développement décadaire de l'infiltration avec celui de l'évapotranspiration potentielle. Pour cela nous avons adapté légèrement la méthode de Cochemé & Franquin (1967). La période de croissance d'une culture doit tomber dans cette saison agricole potentielle. Puis l'évapotranspiration actuelle est déduite en comparant par décade l'évapotranspiration potentielle avec l'infiltration et la percolation. La soustraction de l'estimation de l'évaporation nous donne finalement la quantité d'eau qui peut être transpirée.

Une fois la disponibilité en eau connue, la production de biomasse est calculée suivant une méthode traitée par Tanner & Sinclair (1983). Pour cela le déficit de la pression vapeur pendant la croissance doit être déterminé. Les caractéristiques des cultures qui interviennent sont la photosynthèse (plantes C₃ ou C₄) et la teneur en carbohydrates, protéines et lipides. La production de biomasse ainsi calculée est corrigée avec un facteur 0,75 pour tenir compte d'une utilisation non-optimale de l'eau au début et à la fin de la croissance. La production de biomasse au niveau intensif est fixée à 80 % de celle limitée par la disponibilité en eau.

La production au niveau extensif dépend de la disponibilité des éléments nutritifs. Elle est néanmoins calculée directement à partir de la quantité d'eau infiltrée. Des relations simples entre la disponibilité d'azote et la disponibilité en eau présentées dans [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#), sont utilisées dans

ce but. A ce niveau nous supposons que l'application de la culture attelée peut augmenter en moyenne la production de 20 % (van Duivenbooden & Gosseye, 1990). La production au niveau semi-intensif se situe au milieu des deux autres.

Rendement des résidus au champ : Le rendement des résidus est calculé comme celui du produit principal : production de la biomasse multipliée par la fraction prise par le résidu. Il y a pour les céréales et le coton la possibilité d'utiliser les résidus pour le paillage ce qui réduit les besoins en intrants pour la lutte anti-érosion. Si les résidus ne sont pas utilisés pour ce but, ils sont laissés au champ où ils peuvent être utilisés par les activités de transformation.

MOST à la ferme : Toutes les activités de production de culture sauf coton produisent des résidus à la ferme après battage et vannage du produit principal. Ces résidus sont source de matière organique, et mélangés avec du fumier ils peuvent être transportés au champ au début de la saison agricole suivante. En fonction de sa composition en fibres, la quantité de la matière organique est traduite en matière organique standard (MOST).

N, P et K à la ferme : Comme les résidus à la ferme constituent de la MOST, ils apportent aussi des éléments nutritifs. Les quantités d'éléments nutritifs sont calculées à partir de la quantité de résidu et ses taux pour les trois éléments nutritifs. Les résidus à la ferme ont un quotient C/N élevé et ont par conséquent une certaine capacité de récupérer l'azote volatil excrété par les animaux parqués.

Intrants

Terre : La terre est considérée comme intrant dans les activités de production de culture et possède des caractéristiques qui jouent des rôles importants dans la détermination des valeurs des coefficients techniques. Pour une activité sa valeur comme intrant est considérée en unité d'un hectare.

Main-d'oeuvre : Le besoin en main-d'oeuvre est déterminé à partir d'une succession des opérations agricoles bien définie par culture, niveau d'intensité et d'équipement. Chaque opération est caractérisée par son temps de travaux (en $hj\ ha^{-1}$) et la période agricole dans laquelle elle doit être exécutée. Nous avons utilisé pour la détermination des temps de travaux des opérations les références de van Heemst *et al.* (1981), de van Duivenbooden & Gosseye (1990) et CMDT/IER/DRSPR (1990).

La notion de « période agricole » a été utilisée pour fixer et limiter le nombre de jours pendant lequel un jeu donné des opérations doit être achevé. La somme des temps de travaux des opérations qui tombent dans une période divisée par le nombre de jours dans cette période donne le nombre de main d'oeuvre qu'il faut pour achever les travaux à temps. En réalité les paysans peuvent prendre une marge plus grande, mais l'effet sur le rendement, si l'on prend par exemple plus de temps pour la période de préparation ne peut pas être escompté, sauf si nous définissions encore d'autres activités avec la durée des périodes comme critère de définition.

Les débuts et fins des périodes agricoles varient par sol et culture. Afin de pouvoir comparer ces

calendriers de travaux les besoins en main-d'oeuvre par période sont transformés en besoin par décade de l'année. Un bref aperçu des opérations retenues est présenté par période :

La période d'apport de la matière organique est utilisée seulement pour les résidus arrachés à la fin de la saison dernière. Cette période commence 20 jours avant la préparation de sol.

La période de préparation de sol commence 7 à 10 jours avant le semis et peut comprendre les opérations : grattage, houage, labour de sol, billonnage (manuel ou mécanique ; cloisonné ou non), hersage, préparation de semences et premier épandage d'engrais.

Dans la période de semis on ne fait que le semis qui peut être fait manuellement ou avec le semoir. Deux jours ont été retenus pour cette période.

Deux périodes d'entretien ont été retenues. La première période est de 10 jours pour les céréales, 5 jours pour les légumineuses et 8 jours pour le coton. Les opérations qui selon la culture et l'intensité doivent être achevées dans cette période sont : démarriage, deuxième épandage engrais, sarclage (manuelle ou mécanisé) et première pulvérisation des insecticides. Pour assurer une bonne démarche il est important que ces travaux soient vite faits après l'installation. Pour la deuxième période d'entretien plus de temps est disponible. Elle se trouve entre la fin de la première période d'entretien et le début de la période de récolte. Les opérations incluses sont : troisième épandage engrais, deuxième sarclage (manuelle ou mécanisée), deuxième pulvérisation des insecticides et surveillance contre les attaques des oiseaux.

La période de récolte est 7 jours pour les céréales et l'arachide qui sont récoltés une seule fois. Pour le niébé et le coton qui sont récoltés plusieurs fois cette période prend respectivement 21 et 30 jours.

La période hors récolte n'est pas utilisée par les activités de production de culture. C'est la période où les résidus sont utilisés par les activités d'enfouissement. Elle dure 20 jours.

Dans le reste de l'année (la saison morte) c'est surtout la lutte anti-érosion qui est faite. La quantification de l'érosion ou les travaux à faire pour la diminuer à un certain niveau est difficile à faire et n'est pas satisfaisante. L'approche suivie est bien discutable, nous avons voulu quand même inclure l'érosion parce qu'elle peut être un facteur de perte important. Dans notre approche le coût de l'érosion se situe à deux niveaux : coûts de remplacement de la matière organique et éléments nutritifs perdu par l'érosion tolérée ; coûts de main d'oeuvre et des capitaux pour réduire les pertes jusqu'à ce niveau toléré. Le besoin en main d'oeuvre est calculé à partir de la distance entre les cordons pierreux qu'il faut faire pour minimiser les pertes. Nous supposons que cette distance correspond à peu près à la longueur du champ dans l'équation universelle des pertes de sol (Wischmeier & Smith, 1978). Cette équation prend en compte les facteurs suivants : l'effet de l'érosion hydrique, texture et pente du sol, type et intensité de culture, type de labour. Une norme pour le besoin en main d'oeuvre est tirée de Hijkoop *et al.* (1991). Nous n'avons pas trouvé des données sur l'entretien, alors nous avons supposé un amortissement de 10 années pour les constructions anti-érosives.

Les autres opérations dans la saison morte sont l'arrachage des résidus de récolte (dans le cas où ils sont utilisés pour l'année suivante) et le nettoyage du champ. Le battage et le vannage des produits principaux bruts ont été étalés sur toute l'année.

Capital : Le besoin en capital dépend de la culture, du niveau d'intensité et d'équipement et concerne les amortissements des matériaux et les intrants consommables. Les matériaux considérés sont : multicultureur, semoir, pulvérisateur, char, charrette et âne. Le besoin d'un matériel (en pièce par hectare) est déterminé au moment où l'opération agricole qui utilise ce matériel, est le plus intense. Les prix et durées d'amortissement utilisés sont ceux présentés dans les estimations coûts de production (IER). Comme consommable il n'y a que les pesticides. Les engrais sont pris en compte dans une activité séparée.

L'estimation du capital nécessaire pour la lutte anti-érosion a été faite sur la base des données de Vlaar (1992) sur la confection des cordons pierreux.

MOST : L'approche de la détermination du besoin en MOST a été déjà traitée dans 1.3.1.3. Ce besoin est alors calculé à partir de la durée de la saison pluvieuse, le taux de matière organique dans le sol qu'il faut maintenir et la profondeur dans laquelle on veut la maintenir. Nous avons estimé le taux de la matière organique à maintenir à partir d'une relation établie par Feller *et al.* (1991) entre texture et taux de MO du sol (couche supérieure) pour des champs agricoles. La profondeur utilisée est 20 cm.

N, P et K : Le besoin en éléments nutritifs d'une activité est exprimé en quantités de N, P et K pur. Il est à noter que ce besoin n'est pas couvert à l'intérieur de l'activité. C'est l'ensemble des bilans nutritifs des activités qui doit être couvert au niveau du sol par des activités qui apportent des éléments nutritifs. Le besoin en éléments nutritifs est calculé à partir des bilans pour chacun d'eux. Les processus pris en compte pour ce bilan qui sont tenus en compte sont :

- L'exportation des éléments nutritifs par les produits extrants de l'activité. Les produits principaux bruts et les résidus sortant de l'activité de production de culture contiennent des éléments nutritifs. Leurs quantités dépendent des taux des éléments nutritifs dans les différentes parties des plantes. Nous avons utilisé des taux minimums donnés par van Duivenbooden (1992), multipliés par un facteur de correction pour tenir compte du fait que ces taux minimums sont seulement atteints si d'autres facteurs de production ne limitent pas la production ce qui n'est pas réalisable 100 %.
- Les pertes des stocks en éléments nutritifs par l'érosion. L'érosion de la couche supérieure emporte une partie des stocks en éléments nutritifs. Pour l'azote le stock est déterminé par le taux de la matière organique et un quotient C/N de 15. Pour le phosphore et potassium nous avons utilisé le stock comme retenu dans Tableau 1.5 corrigé par un facteur d'enrichissement de 1,25.
- La volatilisation et la dénitrification. Les pertes par volatilisation et dénitrification n'agissent que sur l'azote. Les pertes par ces processus sont difficiles à dériver quantitativement, nous avons donc fixé cette perte à 40 % d'azote inorganique apporté, en nous basant sur des résultats des essais de l'IFDC (Bationo & Mokuwunye, 1991 ; Christianson *et al.*, 1990 ; Christianson & Vlek, 1991) et les pertes utilisées dans van Duivenbooden & Gosseye (1990).
- Le lessivage. Les éléments nutritifs N et K peuvent être lessivés par percolation au dessous de la zone enracinée. L'azote et le potassium inorganiques qui se perdent de cette façon sont en principe une

fraction de la fraction d'eau infiltrée par percolation.

- La fixation. Les éléments P et K peuvent être fixés plus ou moins de manière irréversible aux particules des sols. Pour le K un taux de fixation entre 10 et 25 % est utilisé en fonction de la texture du sol. Pour le P la fixation est prise en compte dans un modèle simple de P dans le sol décrit par Wolf *et al.* (1987).
- L'apport par pluie et vent. Les éléments nutritifs N, P et K apportés par la pluie et le vent sont estimés à 0,0065 ; 0,0007 et 0,005 kg ha⁻¹ par mm de pluie (van Duivenbooden, 1992, qui s'est basé sur Krul *et al.*, 1982).
- La fixation de l'azote par des microbes (libres ou associés). Krul *et al.* (1982) ont estimé cette fixation d'azote par des microbes associés à 0,0002 kg N par kg de biomasse aérienne et par des microbes libres à 0,00025 kg N par kg de matière organique fraîche apportée.
- La fixation de l'azote par des microbes en symbiose avec des légumineuses. Cet apport au système est escompté en supposant que 75 % de l'azote dans les légumineuses est fixé par les bactéries *Rhizobium* en symbiose avec la plante.
- L'apport par effritement des minéraux. L'effritement d'une fraction des minéraux donne un apport en phosphore et potassium.

Boeufs de labour : Les activités avec culture attelée ont besoin de boeufs de labour. Comme pour la main d'oeuvre le besoin est déterminé par période agricole pour tenir compte des périodes de pointe. Les opérations où les besoins en boeufs figurent sont grattage, labour, hersage, semis, sarclage et transport.

1.3.3. Activités de soutien

Les activités de soutien supportent les activités de culture et d'élevage par la production et la transformation des sous-produits dont elles ont besoin. Elles sont présentées ci-dessous, dans chaque cas d'abord par la définition, suivie par des indications sur la description quantitative.

1.3.3.1. Activités de jachère

Les activités de jachère produisent de la MOST et des éléments nutritifs qui peuvent être utilisés par les activités de culture.

Les critères environnementaux des activités de jachère sont climat et sol. Il n'y a pas de critères techniques.

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par hectare. La quantification des extrants des activités de jachère est encore à un stade préliminaire. Pour le moment nous suivons une approche assez simple. Le seul intrant de l'activité de jachère est la terre. Les extrants sont des éléments nutritifs et matière organique produits pendant les années de repos. Ces apports ont été déterminés de la même façon que les apports naturels des éléments nutritifs dans les activités de culture. La matière organique qui peut en être produite est traduite en valeur MOST.

Nous supposons que les jachères ne sont pas utilisées par les troupeaux. En réalité ceci implique un besoin en main d'oeuvre ou capital pour la protection. Ces besoins ne sont pas prises en compte pour le moment. Un autre aspect qui mérite d'être inclu est le fait que l'apport par la jachère n'est pas linéaire, c'est-à-dire que l'apport moyen annuel d'une jachère de 2 ans n'est pas la même que celle de 10 ans.

1.3.3.2. Activités de pâturage

Ces activités produisent du fourrage de différentes qualités sont utilisés par les activité d'élevage en troupeau.

Les critères environnementaux des activités de pâturage sont climat et sol. Le critère technique est le type de pacage, qui peut être parcage pendant la saison sèche seulement, pendant la saison de pluies seulement, ou pendant toute l'année.

La méthode de calcul de la production est celle traitée par [Breman & De Ridder \(1991\)](#). Cette méthode calcule dans une situation d'équilibre la production de biomasse exploitable, qui dépend du bilan d'azote. A son tour la quantité d'azote annuellement générée est déterminée en fonction de la pluviométrie, des caractéristiques de sol (texture, profondeur, position dans la toposéquence) et un taux de recouvrement des ligneux. Les fourrages produits sont classés en catégories de qualité selon leur taux d'azote.

1.3.3.3. Activités de brûlis des résidus

Les activités de brûlis des résidus transforment les résidus produits par les activités de culture, en éléments nutritifs qui ensuite peuvent entrer dans la même ou une autre activité de culture sur le même type de sol.

Les critères environnementaux des activités de brûlis des résidus sont le climat et le sol (pour leur influence sur le calendrier agricole). Le seul critère technique est la culture.

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par kg de résidu. A coté des résidus le seul intrant est la main-d'oeuvre, qui est utilisée pour l'arachage des résidus avant le brûlage dans la période de préparation de champ.

Les extrants sont les éléments nutritifs P et K à leur taux respectives dans le résidu, traduit en termes de valeurs d'engrais NPK. Nous supposons que le carbone qui reste après brûlage n'est pas actif et il ne contribue pas à la restitution de la matière organique du sol décomposée. Egalement nous considérons que tout l'azote se perd pendant le brûlis.

1.3.3.4. Activités d'enfouissement des résidus

Les activités d'enfouissement des résidus transforment les résidus qui sont produits par les activités de culture, en MOST et éléments nutritifs. La MOST et les éléments nutritifs ainsi produits peuvent entrer

dans la même ou une autre activité de culture sur le même type de sol. Cette activité est possible pour les cultures d'arachide et le niébé. Elle est incluse pour offrir la possibilité de cultiver des légumineuses comme cultures amélioratrices du sol.

Les critères environnementaux des activités d'enfouissement des résidus sont le climat et le sol (pour leur influence sur le calendrier agricole). Le seul critère technique est la culture.

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par kg de résidu. Les autres intrants sont la main-d'oeuvre et les boeufs de labour dans la période hors récolte et du capital pour l'amortissement du multiculteur. La période hors récolte se situe jusqu'à 20 jours après la récolte en supposant que le sol est encore assez humide pendant cette période pour permettre le labour de sol.

Les extrants sont la MOST et les éléments nutritifs N, P et K à leur taux respectifs dans le résidu, traduit en termes de valeurs d'engrais NPK.

1.3.3.5. Activités de fabrication de litière

Les activités de litière utilisent les résidus qui ont été emporté du champ à la ferme pour les mélanger avec les excréments afin de diminuer les pertes en azote pendant leur stockage et décomposition. Les coefficients techniques ne sont déterminés que par le type de culture.

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par kg de résidu. L'autre intrant est la main-d'oeuvre pour la distribution des résidus comme litière. Les extrants sont la MOST, les éléments nutritifs qui se trouvent dans le résidu et une capacité de récupérer l'azote volatile des excréments.

1.3.3.6. Activités de transport des résidus vers la ferme

Les activités de transport transfèrent les résidus produits par les activités de culture du champ à la ferme où ils peuvent être utilisés comme fourrage ou litière.

Les critères environnementaux de ces activités de transport sont sous-zone et sol. Ils sont utilisés pour leur influence sur le calendrier agricole. Le seul critère technique est culture. Elle peut influencer sur le temps de transport par la densité spécifique des résidus qui varie selon les cultures.

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par kg de résidu Les autres intrants sont la main d'oeuvre pour le transport en charrette pendant la période hors récolte et le capital pour l'amortissement de la charrette et des ânes. L'extrant est le même résidu qui se trouve maintenant transporté à la ferme.

1.3.3.7. Activités de transport de fumier vers le champ

Ces activités de transport transfèrent le fumier (traduit en termes de MOST et des éléments nutritifs) de la ferme au champ. Le fumier à la ferme a été produit par les activités de culture, d'élevage (troupeau et

embouche) litière, production de pâturage et achat de suppléments. Arrivés au champ, ces produits sont intrants dans les activités de production de culture.

Les critères environnementaux des activités de transport de fumier sont sous-zone et sol. Les deux sont utilisés pour leur influence sur le calendrier agricole. Il n'y a pas un critère technique, parce qu'on ne transporte que du fumier.

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par unité de matière organique standard (UMO). Les autres intrants sont la main d'oeuvre pour le transport en charrette pendant la période d'amendement matière organique et le capital pour l'amortissement de la charrette et des ânes. Les intrants sont aussi les éléments nutritifs à la ferme. Ils sont en même temps que la MOST transportés à travers le fumier. L'extrait de cette activité de transport est également l'unité de matière organique standard qui se trouve maintenant au champ.

1.3.4. Activités d'élevage

1.3.4.1. Introduction

Pour une grande fraction de la population de la zone de Koutiala l'élevage est l'une des principales occupations productives. L'insuffisance de fourrages d'une qualité acceptable est le problème clef de l'élevage dans la zone soudano-sahélienne. Les paramètres les plus importants pour la productivité de l'élevage étant liés à la situation alimentaire, il y a la nécessité de définir des activités d'élevage intensives dans le but d'améliorer la productivité de l'élevage. Une activité d'élevage est définie ici comme étant la combinaison spécifique d'un nombre d'intrants (fourrage, main d'oeuvre, intrants monétaires) et un nombre d'extrants ou produits (viande ou poids vif, lait, fumier, traction) pour une espèce animale donnée.

Les principaux critères de définition retenus sont l'espèce animale, l'objectif principal de production (lait, viande ou traction) et le niveau d'intensification (niveau cible de production et niveau d'alimentation exigé). A l'heure actuelle il s'agit seulement d'un élevage des bovins, les tableaux intrants-extrants n'étant pas encore finis pour d'autres types d'animaux.

Deux types d'activités ont été définies. Les activités au sein d'un troupeau qui peut se reproduire, donc avec des mâles, des femelles, des veaux, etc. Ces activités d'élevage en troupeau ont des objectifs mixtes, l'accent pouvant être mis sur la production de viande, de lait, ou de traction animale, avec le fumier comme sous produit. Les autres types concernent les activités d'embouche de production intensive de viande.

Un schéma des intrants et extrants et des interrelations entre les deux types d'activités est donné dans la Fig. 1.3. Comme l'indique ce schéma, il y a trois types d'intrants utilisés : fourrage, main d'oeuvre et intrants monétaires. Pour les activités d'embouche en saison sèche on peut y ajouter les animaux d'embouche, qui doivent être fournis par les activités de troupeau. Les fourrages sont réparties en 8

catégories de qualités (q1 à q8) et, pour les activités de troupeau, en 2 saisons. Les extrants qui sortent des activités sont la viande et le fumier pour les deux activités, des animaux d'embouche, de la traction, et du lait dans le cas des activités de troupeau.

Le calcul des intrants et extrants est basé sur une approche élaborée par Ketelaars & Bakker (en prép.). Les relations à la base des calculs sont celles entre d'une côté la qualité fourragère et l'ingestion volontaire d'un bovin, et de l'autre côté entre l'ingestion et la croissance pondérale.

Figure 1.3. Intrants et extrants ans les activités d'élevage.

1.3.4.2. Activités d'élevage en troupeau

L'unité considérée dans ce type d'activité est le troupeau. Un troupeau est constitué de catégories d'animaux d'âge et de sexe différents. Douze (12) catégories d'âge (0 an à 11 ans) et 2 catégories de sexe (mâle et femelle) ont été distinguées. La structure d'un troupeau est définie par la distribution du nombre total d'animaux parmi ces différentes classes. Cette distribution dépend de plusieurs facteurs, tels que la vitesse de croissance, la mortalité, la stratégie de vente, la vitesse de reproduction, etc. La quantification des intrants et extrants des activités troupeau se fait sur la base d'une année. La stratégie de vente définit l'âge de vente de tous les mâles et des génisses qui ne sont pas nécessaires pour la reproduction du troupeau. La dernière catégorie d'animaux vendus est celle de vaches âgées (11 ans). La stratégie de vente employée est donc toujours tel que le troupeau est stable, c'est-à-dire que le troupeau à la fin de l'année ait une même taille et une même structure qu'au début de l'année. Ainsi on assure la reproduction de la ressource, que constitue le troupeau.

Quantification d'extrants

Une distinction a été faite entre 5 niveaux de production, correspondant à 5 niveaux d'alimentation, 5 menus fourragers de différentes qualités (Tableau 1.8). Le niveau d'alimentation de 1,05 mène au niveau de production 1, 1,075 à 2, 1,1 à 3, etc. Chaque menu est caractérisé par son niveau d'alimentation, qui est un terme technique décrivant la fraction de l'ingestion d'énergie nécessaire pour l'entretien d'un troupeau. Un troupeau avec un menu d'un niveau d'alimentation d'unité (1) c'est-à-dire le besoin d'entretien, ne produit donc (presque) rien.

Pour un niveau d'alimentation donné, la différence entre les trois objectifs lait, viande et traction se fait sentir dans la stratégie de vente. Quatre stratégies de vente sont considérées. Si le but principal est la production de lait, tous les veaux qui ne sont pas nécessaires pour le maintien du troupeau sont vendus aussitôt que possible (12 mois). Dans le cas où l'objectif principal de production est la viande, les veaux sont retenus dans le troupeau pendant 2 ou 3 ans, pour d'abord gagner du poids et ensuite être vendus. La dernière stratégie, la vente des mâles à l'âge de 6 ans et des femelles à l'âge de 4 ans, est retenu pour augmenter la fraction de mâles d'un âge de trois ans ou plus dans le troupeau. C'est cette fraction qui est utilisable en tant que boeufs de labour dans les activités culturelles.

Ainsi 20 activités de troupeau ont été définies en combinant 5 niveaux d'alimentation avec 4 stratégies de vente. Les activités définies donnent différents niveaux de production de viande, de lait et d'animaux de traction (Tableau 1.8). En plus de la production indiquée, il y a aussi un type d'extrait qui consiste dans le fait que les animaux vendus qui n'ont pas encore atteint leur poids maximum sont utilisables comme intrants dans les activités d'embouche (voir aussi 1.3.4.2).

Tableau 1.8. Activités de troupeau : définition et productivité.

Activité	NA	SV	PV (kg animal ⁻¹ an ⁻¹)	Lait (kg animal ⁻¹ an ⁻¹)	BL (animal animal ⁻¹ an ⁻¹)
1	1,05	1	25	62	0,00
2	1,05	2	27	55	0,00
3	1,05	3	29	46	0,07
4	1,05	4	28	42	0,18
5	1,075	1	30	93	0,00
6	1,075	2	33	79	0,00
7	1,075	3	35	64	0,08
8	1,075	4	34	56	0,20
9	1,10	1	35	117	0,00
10	1,10	2	38	99	0,00
11	1,10	3	40	79	0,08
12	1,10	4	39	68	0,20
13	1,15	1	44	176	0,00
14	1,15	2	48	144	0,00
15	1,15	3	52	118	0,09
16	1,15	4	49	100	0,23
17	1,20	1	50	212	0,00
18	1,20	2	55	172	0,00
19	1,20	3	59	141	0,09
20	1,20	4	56	120	0,23

(NA=Niveau d'Alimentation ; SV=Stratégie de Vente ; PV=Poids Vif ; BL= Boeufs de Labour dans les activités culturelles)

Quantification des intrants fourragers

Il y a 8 catégories de qualité qui ont été distinguées en précisant pour chacune d'entre elles les caractéristiques telles que la digestibilité, le niveau d'alimentation et les aliments concernés par ces caractéristiques (Tableau 1.9 ; suivant Ketelaars & Bakker, en prép.). Le niveau d'alimentation d'un fourrage indique le niveau d'ingestion (toujours exprimé comme fraction du niveau d'entretien du troupeau) qui serait atteint si le troupeau était nourri seulement avec ce type de fourrage. Les fourrages sont fournis par les pâturages, les activités culturales et l'achat de tourteau de coton (qui est le seul aliment acheté).

Tableau 1.9. Les différentes qualités de fourrage utilisées.

Q	NA	DMO (%)	Aliments en saison sèche	Aliments en saison de pluies
1	0,25	35	pâturage N<4 g kg ⁻¹ MS	
2	0,50	40	pâturage N : 4-6 g kg ⁻¹ MS	
3	0,75	45	pâturage N : 6-8 g kg ⁻¹ MS, <i>Andropogon</i> paille de mil, sorgho, maïs	
4	1,00	50	pâturage N 8-10 g kg ⁻¹ MS, feuilles de mil, sorgho, maïs, <i>Andropogon</i> , paille de riz	
5	1,25	55	pâturage N : 10-13 g kg ⁻¹ MS, fanes de niébé, arachide, paille de riz traité	
6	1,50	60	pâturage N>13 g kg ⁻¹ MS bourgou ; stylo	pâturage N<16 g kg ⁻¹ MS
7	1,75	65		pâturage N 16-22 g kg ⁻¹ MS
8	2,00	70	tourteau de coton	pâturage N>22 g kg ⁻¹ MS

Q = niveau de Qualité du fourrage ; NA = Niveau d'Alimentation ; DMO = Digestibilité de la Matière Organique.

Pour chaque activité de troupeau le niveau d'alimentation détermine le niveau moyen du menu fourrager qui est nécessaire pour atteindre la production du troupeau indiqué. Ce niveau peut être atteint avec plusieurs combinaisons de fourrages de différentes qualités. Une telle combinaison est indiquée par « stratégie fourragère ». En totalité, 58 stratégies fourragères ont été définies, 12 pour chaque niveau d'alimentation sauf le niveau 1,2, pour lequel 10 stratégies fourragères ont été définies. Un exemple des besoins en fourrage des différentes qualités pour les différentes stratégies fourragères est donnée pour le niveau d'alimentation 1,10 dans le Tableau 1.10.

Tableau 1.10. Besoin en fourrage (en kg MS) par stratégie fourragère et par saison, pour un niveau d'alimentation de 1,10.

Stratégies fourragères	Besoin en fourrage (kg animal ⁻¹)							
	En saison de pluies	En saison sèche par niveau de qualité						
		1	2	3	4	5	6	8
25	522							
26	522	196			890			
27	522	514				607		
28	522	704					445	
29	522	922	257		822			272
30	522		599			498		
31	522		770				342	
32	522		942					196
33	522			457	616			
34	522			799		280		
35	522			913			171	
36	522			1004				88

Les besoins en intrants monétaires et en main d'oeuvre pour l'exécution des activités sont donnés dans le Tableau 1.11. La main-d'oeuvre doit être fourni pendant toutes les périodes de l'année. Au besoin en main d'oeuvre s'ajoute encore le temps de traite qui a été estimé à 10 minutes par kg. de lait. Ce chiffre est basé sur les données présentées par van Duivenbooden & Gosseye (1990).

Tableau 1.11. Intrants monétaires (1000 Fcfa animal⁻¹ an⁻¹) et en main d'oeuvre (homme animal⁻¹) par niveau de production.

Niveau de production*	1	2	3	4	5
Main d'oeuvre	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035
Intrants monétaires	0	1	2	3	4

* voir la présentation du Tableau 1.8 pour le rapport entre niveau de production et le niveau d'alimentation.

1.3.4.3. Activités d'embouche

Les activités d'embouche ont été définies sur la base de la pratique en saison sèche (Décembre à Mai), période où les animaux de bon état sont de plus en plus rares et où le niveau de prix sur les marchés à bétail est assez élevé (Tableau 1.12). Ces activités utilisent donc seulement le fourrage et la main d'oeuvre en saison sèche. La durée de l'embouche est de 6 mois. Elles sont exécutées en stabulation fixe aux étables. Cela a pour conséquence que les animaux n'ont pas d'accès aux pâturages naturels. Les sources alimentaires à leur disposition sont les sous-produits agricoles et les suppléments achetés (dans le modèle actuel : le tourteau de coton).

Pour l'embouche 6 types d'animaux cibles sont considérés : jeunes < 150, mâles de 150-250 kg, femelles de 150-250 kg, mâles 250-350 kg, femelles de 250-350 kg, mâles de 350-450 kg. Les dernières catégories seraient d'une race améliorée dont les mâles ont un poids adulte maximale de 680 kg, ce qui surpasse largement ce qu'on trouve maintenant dans la région.

Sur les 8 catégories de qualité qui ont été distinguées pour les activités troupeau seules celles qui concernent les aliments de saison sèche ont été distingués pour l'embouche. Trois niveaux d'alimentation ont été retenus pour les activités d'embouche. Ce sont les niveaux correspondant à 1,25, 1,5 et 1,75 fois le besoin d'entretien d'un animal. Ainsi 18 activités de production de viande sont distinguées. Elles sont présentées dans le Tableau 1.12 avec leur productivité (gain de poids) et leur besoin total en matière organique digestible. Les besoins fourragers pour atteindre un certain niveau de production peut se faire de différentes manières, qui constituent les stratégies fourragères. Il y a 21 stratégies fourragères par niveau d'alimentation. Les besoins en intrants monétaires pour les niveaux d'alimentation 1,25 ; 1,5 et 1,75 sont respectivement de 2000, 4000 et 6000 Fcfa animal⁻¹. Ces intrants couvrent l'infrastructure et les soins vétérinaires. Le besoin en main-d'oeuvre est estimé à 0,05, 0,06 et 0,07 homme animal⁻¹.

Tableau 1.12. Activités d'embouche : définition et productivité.

Act.	NA	Sexe	Poids initial (kg)	Mortalité (%)	Ingestion (kg MOD)	Gain de poids (kg)
1	1,250	m/f	100	5	338	52
2	1,250	m	200	2	454	45
3	1,250	m	300	2	545	35
4	1,250	m	400	2	622	26
5	1,500	m/f	100	5	457	101
6	1,500	m	200	2	556	86
7	1,500	m	300	2	630	68
8	1,500	m	400	2	686	49
9	1,750	m/f	100	5	568	144
10	1,750	m	200	2	653	123
11	1,750	m	300	2	711	98
12	1,750	m	400	2	746	71
13	1,250	f	200	2	446	41
14	1,250	f	300	2	515	23
15	1,500	f	200	2	533	76

16	1,500	f	300	2	565	42
17	1,750	f	200	2	605	103
18	1,750	f	300	2	605	57

MOD= Matière Organique Digestible ; NA=Niveau d'Alimentation.

1.4. Modélisation

Dans le présent chapitre les premiers résultats des modèles de programmation linéaire pour le niveau régional et le niveau ferme seront présentés dans 1.4.3 et 1.4.4. Après l'introduction de 1.4.1, 1.4.2 contient la spécification assez détaillée des modèles utilisés et présente la programmation linéaire à buts multiples. Il s'agit de l'explication de la méthode et une discussion de ses possibilités et de ses limites.

1.4.1. La planification à buts multiples : un outil d'analyse des options de production agricole durable

La programmation linéaire (interactive) à buts multiples (PLBM) est une méthode permettant d'analyser des problèmes de planification complexe. La méthode a été décrite, appliquée ou illustrée par Nijkamp & Spronk (1980), Spronk & Veeneklaas (1983), van Keulen (1990), de Wit *et al.* (1988), Spharim *et al.* (1992), Romero & Rehman (1989), [Veeneklaas *et al.* \(1991\)](#), et van Keulen & Veeneklaas (1993). Tous ont utilisé la programmation linéaire à buts multiples pour définir des décisions à critères multiples, notamment dans le contexte de la planification agricole régionale. Les deux dernières publications concernent l'application de la méthode dans la 5ème région du Mali. Deux autres publications qui se sont servis de la programmation linéaire pour analyser des problèmes dans l'agriculture au Mali Sud sont Brossier & Jager (1984) et Kébé (1993).

La méthode de la PLBM utilise un modèle caractérisé par une série de variables de décision ou activités (décrites par la matrice intrants-extrants), les ressources disponibles et les objectifs visés. Toutes ces composantes sont décrites ailleurs dans le document. C'est la procédure de la PLBM qui sera décrite ici.

1.4.1.1. La programmation linéaire : un exemple

La procédure PLBM consiste à résoudre successivement des programmes linéaires (PL). Pour une bonne introduction dans la programmation linéaire, appliquée à des problèmes en agriculture dans les pays en voie de développement, il faut se référer à Schweigman (1993). Néanmoins il peut s'avérer utile d'expliquer certains termes techniques à travers un exemple.

Dans un programme linéaire on cherche à maximiser ou à minimiser une fonction objectif sous condition de certaines restrictions. Cette fonction objectif et les restrictions sont toutes des fonctions linéaires dans les variables de décision. Il y a des manières de trouver la solution optimale d'un programme linéaire dans un temps limité, même si le programme est très grand. C'est un des aspects qui est à la base de la popularité de la programmation linéaire en tant qu'outil dans la planification. Par

exemple, le modèle discuté dans 1.4.2 contient environ 1200 restrictions et 1600 variables. La solution optimale contient non seulement la valeur de la fonction objectif, mais aussi le niveau de toutes les variables dans le modèle, l'utilisation des ressources et aussi les coûts d'opportunité des différentes ressources et produits finaux et intermédiaires. Les termes techniques employés seront maintenant expliqués à travers un exemple.

Considérons une exploitation avec un nombre d'actifs de 15 et une certaine disponibilité en terre. Trois cas, A, B et C, seront examinés où la disponibilité en terre est de 4, 6, et 2 ha. Le problème considéré est : comment répartir la superficie disponible entre les cultures de maïs et de coton pour avoir un revenu net aussi élevé que possible ? D'autres données pertinentes de l'exploitation sont les suivantes :

	unité	maïs	coton
revenu net	Fcfa ha ⁻¹	35.000	50.000
besoin en main d'oeuvre (période de pointe)	actif ha ⁻¹	3	5

Le problème pour le cas A se traduit dans le programme linéaire suivant :

$$\text{Max : } 35.000 * \text{Supm} + 50.000 * \text{Supc} \quad \{\text{fonction objectif}\}$$

sous conditions :

$$\begin{aligned} \text{Supm} + \text{Supc} &\leq 4 && \{\text{restriction disponibilité en terre}\} \\ 3 * \text{Supm} + 5 * \text{Supc} &\leq 15 && \{\text{restriction disponibilité main d'oeuvre}\} \\ \text{Supm} &\geq 0 && \\ \text{Supc} &\geq 0 && \{\text{conditions de non-négativité}\} \end{aligned}$$

Les variables de décision sont Supm et Supc, qui désignent les superficies en maïs et coton, respectivement. Les coefficients techniques utilisés dans ce problème sont les coefficients des variables de décision dans la fonction objectif (35.000 et 50.000) et dans les restrictions (1, 1, 3, et 5) et les termes indépendants (4 et 15), qui dans ce cas décrivent la disponibilité en ressources (terre et main d'oeuvre). Pour les cas B et C il suffit de changer le terme indépendant de la restriction de terre de 4 en 6 et 2, respectivement.

Les solutions pour les trois cas A, B, et C peuvent être décrites comme suit :

	A	B	C
Supm	2,5	5	0
Supc	1,5	0	2

Terre

Disponibilité	4	6	2
Utilisation	4	5	2
Coût d'opportunité	12.500	0	50.000

Main d'oeuvre

Disponibilité	15	15	15
Utilisation	15	15	10
Coût d'opportunité	7500	11667	0

Valeur fonction objectif	162.500	175.000	100.000
--------------------------	---------	---------	---------

La solution indique les valeurs des variables de décision, quelques statistiques pour les restrictions et la valeur de la fonction objectif. Dans le cas B c'est uniquement la main-d'oeuvre qui limite la valeur de la fonction objectif. Celle-ci est maximale dans ce cas si la main-d'oeuvre est valorisée autant que possible, ce qui explique le choix unique pour la culture de maïs. Cette culture valorise la main d'oeuvre à $35.000/3$ (Fcfa actif⁻¹), le coton la valorise à $50.000/5$. La terre est (relativement) abondante de sorte que seulement 5 des 6 ha sont exploités. Une augmentation de la disponibilité en terre aurait aucun effet sur la solution optimale. Cela se voit aussi à travers la valeur du coût d'opportunité de la terre qui indique sa valeur marginale (en unité de la fonction objectif par unité de restriction, ici : en Fcfa ha⁻¹), autrement dit : la valeur avec laquelle la fonction objectif augmenterait (ou diminuerait) si la disponibilité en terre augmenterait (ou diminuerait) d'une unité (ha). Pour le cas B cette valeur est zéro pour la terre. Pour la main d'oeuvre on trouve une valeur marginale de 11.667 Fcfa actif⁻¹ (dans la période de pointe). Un actif additionnel serait utilisé pour cultiver encore plus de maïs, un tiers d'un ha ce qui ajouterait $35.000/3=11.667$ au revenu net.

Pour le cas C c'est la main d'oeuvre qui est relativement abondante. Sa valeur marginale est zéro. Dans cette situation c'est la terre disponible qui est à utiliser et à valoriser autant que possible, ce qui se fait par la culture unique de coton (50.000 ha⁻¹ contre 35.000 ha⁻¹ pour le maïs). Notez que cela peut changer au moment qu'il y aurait une possibilité de cultiver plus de terre. La valeur marginale d'un ha est donc de 50.000 Fcfa ha⁻¹. Cette valeur peut aussi être interprétée comme le prix maximum pour un ha de plus que le décideur serait prêt à payer selon le modèle.

La situation A est un peu plus compliquée, comme les deux ressources limitent la valeur maximale de la fonction objectif. Toutes les deux ont une valeur marginale positive, mais moins élevée que pour le cas où l'autre ressource est abondante. C'est la raison pour laquelle la valeur de la main-d'oeuvre et celle de la terre sont maximisées. On trouve donc une solution dans laquelle les deux cultures sont utilisées.

Deux principes économiques sont ainsi illustrés à partir des trois situations :

- La loi de la diminution de la valeur marginale d'un facteur productif est considérée voir si on suit la valeur marginale de la terre à travers les cas C, A, B. Elle baisse de 50.000 à 12.500 puis s'annule.
- En augmentant la disponibilité d'un facteur de production (ici : terre), tant qu'il soit limitatif, l'efficacité (la productivité) d'autres facteurs de production (ici : main d'oeuvre) augmentent. La valeur marginale de la main d'oeuvre augmente de zéro à 7.500 puis à 11.667 par suite de l'augmentation en disponibilité en terre. C'est ce principe qui constitue un argument important pour l'intensification et l'utilisation des intrants externes.

1.4.1.2. La procédure de la Programmation Linéaire à Buts Multiples

Dans un programme linéaire donné on ne peut maximiser ou minimiser qu'une seule fonction objectif. Mais dans la pratique il n'existe guère des situations où il n'y a qu'un seul objectif, et notamment dans la planification régionale. Pour le développement rural au Mali (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de l'Environnement, 1992) le gouvernement cherche, entre autres, à protéger l'environnement, conserver les ressources naturelles, diminuer l'exode rural, maximiser l'offre d'emploi, assurer l'autosuffisance alimentaire, encourager les exportations, intégrer la production des cultures et d'élevage, diversifier la production primaire, intégrer la femme au développement, etc.

Il y a au moins deux manières de tenir compte des différents objectifs : la première est d'assigner des poids à tous les objectifs et de faire une fonction objectif qui est la somme de tous les objectifs, multiplié par leur poids respectif. Un grand désavantage de cette méthode est que l'assignation des poids aux objectifs est difficile. Il y a néanmoins des approches pour résoudre ce problème, comme le montre Kruseman dans sa contribution à cet atelier. La deuxième méthode consiste à spécifier pour chacun des objectifs, sauf un, un niveau cible, et de l'inclure comme restriction dans laquelle on spécifie que la variable-objectif doit ou ne doit pas dépasser au moins ce niveau cible.

Pour des raisons de simplification de l'explication, et sans perte de généralité, supposons que toutes les variables-objectifs spécifiées dans le modèle doivent être maximisées. L'analyse PLBM s'effectue maintenant comme suit : Tout d'abord on analyse chaque objectif séparément, un niveau minimum acceptable (cible) étant attribué aux variables-objectifs. Chaque séquence du modèle génère une solution optimale, c'est-à-dire, une combinaison optimale d'activités et les valeurs correspondantes des variables-objectifs. Les résultats définissent le niveau maximum de chaque objectif, compte tenu des contraintes techniques et des niveaux minimums des variables-objectifs. Les résultats quantifient par conséquent les diverses possibilités offertes à la région.

Ensuite, les niveaux cibles des diverses variables-objectifs peuvent être élevés ou abaissés. Chaque fois que l'on passe à un niveau cible supérieur, la restriction correspondante appliquée à l'objectif devient encore plus contraignante, réduisant la marge de manoeuvre pour la réalisation des autres objectifs. Au cours du processus se dégage un aperçu des coûts d'un objectif par rapport aux autres. Si le nombre de variables-objectifs est élevé, il peut s'avérer difficile d'évaluer le coût des solutions pour toutes les combinaisons des niveaux cibles possibles. Dans ce cas, il convient de choisir l'approche interactive : à

la fin d'une simulation, un niveau cible plus élevé est attribué à l'un des objectifs. Si le résultat obtenu est meilleur que le précédent, c'est-à-dire si le gain réalisé pour un objectif n'est pas trop « coûteux » par rapport aux autres, on continue. Si le résultat n'est pas meilleur, on reprend les niveaux cibles de départ et on passe à un autre objectif. Il est préférable d'impliquer dans cette phase interactive une ou plusieurs des parties intéressées aux résultats. Au lieu d'utiliser la pleine approche interactive, il est également possible de sélectionner un certain nombre de facteurs stratégiques conditionnant l'importance relative des objectifs. Une recherche de « solution d'espace disponible » pour chacun de ces facteurs peut être faite et présentée avant le début de la phase interactive effective.

La Fig. 1.4 illustre le principe d'interrelation de ces objectifs dans la méthode PLBM. Le premier graph dépeint une situation exigeant d'abord un revenu régional d'au moins $R1_{cib}$. Le niveau de production céréalière maximum que l'on atteigne, compte tenu de cette restriction, est calculé dans une séquence PL et est désigné par $C1_{max}$. On obtient ainsi le point B. De même, le point A peut être obtenu en supposant que $C1_{cib}$ est le niveau de production céréalière minimum acceptable et $R1_{max}$ le revenu régional maximum correspondant que l'on peut atteindre. Si, dans une séquence suivante, le niveau minimum acceptable de production céréalière s'accroît au niveau $C2_{cib}$, le revenu régional maximum correspondant décroît au niveau $R2_{max}$ (point C), par exemple, étant donné que moins de terres pourront être mises à la disposition pour la pratique de cultures de rente. La situation qui en résulte est présentée à la deuxième graph. Enfin, le troisième graph indique comment la marge de manoeuvre disponible est de nouveau réduite si le revenu régional minimum requis augmente pour atteindre le niveau $R2_{cib}$. La production céréalière maximum que l'on peut atteindre décroît au niveau $C2_{max}$ (point D). On peut donc constater que la solution optimale dépend, autant sinon plus, des restrictions que de la spécification de la fonction objectif.

Figure 1.4. Illustration du principe de la programmation linéaire à buts multiples ; l'explication est donnée dans le texte.

1.4.1.3. Possibilités et limites de la méthode

Avant d'engager la discussion sur l'application du modèle et les analyses décrites ci-dessus, il convient d'examiner son caractère, afin de faire ressortir les possibilités et les limites inhérentes à son utilisation. Le modèle est une description mathématique d'un problème d'allocation (de ressources). Il est certes tentant de baptiser ce modèle « modèle de planification régionale d'utilisation des terres » mais, en fait, il a surtout pour but de décrire le potentiel d'une production agricole durable d'une région, ce potentiel étant étudiée comme étant une fonction des objectifs régionaux et des différents scénarios des prix et des politiques. Si on considère le problème néanmoins comme un problème d'allocation, c'est dans la perspective d'une grande exploitation agricole où un décideur détient la liberté ou le pouvoir d'allouer les ressources humaines régionales disponibles ainsi que les autres ressources à l'exécution des différentes activités telles que définies dans le modèle. En réalité, les décisions ne sont pas prises à partir d'un pouvoir central mais à un niveau bien plus bas, dans une situation où une partie des terres est déjà dégradée et où les activités durables sont l'exception et non la règle.

Quelles sont donc les perspectives offertes par le modèle et par la méthode PLBM? Formulée brièvement, la réponse est qu'il contribue à explorer la faisabilité d'une production agricole durable.

D'abord, il répond à la question de savoir si une production durable est réalisable économiquement, pour les divers scénarios de prix et les niveaux cibles des variables-objectifs. Ceci est le cas si le bilan économique est positif et que les bilans en éléments nutritifs et en matière organique sont au moins en équilibre. Pour le cas de l'analyse au niveau de la zone soudano-sahélienne, les différents bilans seront définis pour l'ensemble de la région ainsi que pour les sous-régions. Cela permettra de mettre en lumière si l'objectif d'une production durable peut être atteint dans les différentes sous-régions.

Deuxièmement, la méthode relie les combinaisons climat-sol avec les activités les plus appropriées (celles-ci ne dépendant pas uniquement de l'adéquation de la combinaison climat-sol mais aussi de ses avantages comparatifs). Dans notre étude, par exemple, le résultat constitue une indication quant à la manière la plus efficace d'allouer les ressources aux activités culturelles et d'élevage. Quel type de sol convient-il le mieux aux pâturages? aux cultures fourragères? aux productions alimentaires? aux cultures de rente? Quel type d'animal est-il idéal? Les petits ruminants, les bovins, la volaille? Quel est le niveau de fertilisants nécessaire? Quel est le niveau d'intensification le plus rentable pour les différents types d'activités, etc. Ici encore, les réponses peuvent varier en fonction des objectifs et des scénarios de prix.

En ce qui concerne l'analyse de faisabilité d'une production durable, une différence doit être faite entre la faisabilité technique et la faisabilité économique. La faisabilité technique se réfère aux options techniques disponibles dans le processus de développement agricole durable. En vue des activités (options techniques) qui ont été définies, il semble évident que celles-ci n'ont pas encore été testées pour la plupart des combinaisons climat-sol de la région. Il semble en fait difficile et coûteux de pratiquer de tels tests, d'autant plus que beaucoup des processus qui déterminent le niveau de durabilité d'une activité sont des processus à long terme. Dans le modèle intrants-extrants, toutes les connaissances disponibles sont rassemblées de manière systématique. L'approche PLBM peut également servir les objectifs d'une recherche agro-écologique, zootechnique et technique. Il est très probable qu'en cours d'analyses PLBM, certaines combinaisons d'activités seront logiquement sélectionnées par le modèle plutôt que d'autres. Les activités choisies seront alors testées de préférence en station d'expérimentation ou, éventuellement, dans une exploitation agricole. Cela pourrait contribuer à réduire les sommes d'argent et d'efforts investis dans la recherche agraire.

La faisabilité économique reflète l'attrait économique des combinaisons d'options techniques. La faisabilité économique d'une activité durable dépend des niveaux de prix et peut être considérée comme un indicateur du potentiel d'acceptation de l'activité par les décideurs. Le fait de pouvoir simuler différentes situations de prix permet d'analyser leurs effets sur les objectifs et définir une série d'activités optimales. Cela mettrait en valeur l'efficacité des différentes politiques de prix et aiderait à identifier les instruments susceptibles de stimuler une production durable. Il faudrait cependant s'abstenir d'attacher une trop grande importance aux prévisions d'impact d'une politique de prix basée sur un modèle régional intégrant les choix des agriculteurs. Une analyse au niveau de l'exploitation agricole est indispensable comme moyen de vérification.

Les connaissances existantes quant aux modes culturels, processus d'évolution des sols, systèmes de production animale, etc. sont utilisées pour définir le potentiel de production technique. Par conséquent, le modèle constitue une bonne base pour la pratique d'une recherche multi- et interdisciplinaire, où les spécialistes des différentes disciplines « techniques » joueraient un rôle dans l'élaboration de la matrice intrants-extrants. Un inconvénient cependant est que l'utilisateur du modèle peut ne pas être au courant des impondérables attachés à certains coefficients techniques. Cela peut et doit être évité en impliquant les spécialistes techniques dans les discussions sur les résultats. L'utilisateur du modèle (l'économiste) devrait être, lui aussi, impliqué dans les travaux des spécialistes, ne serait-ce que pour les empêcher de s'enfoncer trop dans les détails et consacrer par conséquent trop de temps à la détermination des coefficients intrants-extrants. En bref, le processus ne doit être seulement multidisciplinaire ; il doit aussi être interdisciplinaire.

L'une des limites de l'approche est une conséquence de ce qui a été dit ci-dessus concernant la région qui est considérée comme une grande exploitation. Sur cette exploitation tous les produits et tous les facteurs de production sont disponibles sans escompter des frais de transport. En réalité il peut y avoir de goulots d'étranglement dans l'infrastructure ou des frais de déplacement qui ne sont pas pris en compte dans le modèle.

Une deuxième limite est le fait que l'analyse est statique. Il est considéré qu'en effet la combinaison d'activités représentant la solution optimale est valable en permanence. L'analyse décrit donc une future situation durable, sans indiquer cependant le chemin pour l'atteindre, même si elle suggère des stratégies économiques et techniques. Mais les investissements, par exemple pour la bonification des terres dégradées, qui seraient nécessaires pour arriver aux productivités conseillées par le modèle ne sont pas escomptés. Il serait intéressant d'appliquer l'approche à des périodes de temps plus longues. Cela nécessiterait également l'intégration d'activités non durables ou moins durables, ainsi que leur influence sur les ressources en terres et les conséquences pour les futures productions. Un tel cadre pourrait être utilisé pour analyser l'interrelation existant entre une production présente et future.

Une autre limite est l'absence de toute évaluation de risques. La variation dans les relations intrants-extrants imputable à une variation climatique peut être très large ; à l'heure actuelle les activités du modèle sont basées sur des moyennes. Le risque de production alimentaire insuffisante pendant une année très sèche par exemple, n'est pas pris en compte. Nous nous proposons d'inclure cet aspect suivant [Veeneklaas et al. \(1991\)](#). Les relations intrants-extrants y sont définies pour une « année catastrophe » typique, par exemple, une année d'une pluviométrie égale à 60% de la normale. Il est alors possible de fixer les limites de certains objectifs pour une année catastrophe, au coût cependant d'un grand nombre de variables et de coefficients additionnels. Dans une analyse exploratoire, il peut donc s'avérer utile d'exclure le facteur risque. S'il doit être procédé à une planification effective, l'inclusion du facteur risque peut même s'avérer indispensable.

La Fig. 1.5 résume le rôle que doit jouer le modèle PLBM dans l'analyse des possibilités d'une production agricole durable. D'abord le modèle incorpore la connaissance existante à différents niveaux: la disponibilité des ressources, les possibilités de production (activités), les objectifs des décideurs de

l'entité considérée (ferme, région) et les conditions économiques (prix). Le modèle est ensuite utilisé pour des calculs: pour une série de combinaisons des prix et des niveaux cibles des différentes variables objectifs, la solution optimale est dégagée. Ce sont les résultats qui en sortent qui sont utilisés pour faire une comparaison avec la situation actuelle. Suite à cela on espère pouvoir élaborer des recommandations aux politiciens et chercheurs sur la façon d'atteindre ou de rapprocher cette situation optimale à partir de la situation actuelle.

Notez qu'il peut y avoir des rétroactions dans le processus, c'est-à-dire les analyses à une étape donnée peuvent amener l'équipe de recherche à reconsidérer certains aspects du modèle, selon les besoins.

[Figure 1.5.](#) Phases de la modélisation PLBM.

1.4.2. Description du modèle de programmation linéaire

Dans ce sous-chapitre le premier modèle de programmation linéaire (PL) de l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) est décrit en trois parties. La première partie est une description globale des principales composantes du modèle. La dernière partie est plus technique et tente d'expliquer le modèle utilisé à partir du texte du modèle. Ce texte est rendu presque intégralement dans [l'annexe 1.5](#). Ainsi les lecteurs intéressés peuvent connaître, pour chaque du sujet modèle leur intérêt, et savoir pourquoi et comment cela a été incorporé. Pour faciliter la compréhension de cette partie elle est précédé par une section où la langue de modélisation utilisée est expliqué à travers l'exemple de 1.4.1.

1.4.2.1. Composantes principales du modèle PL

Le modèle PL décrit le problème du choix de la combinaison optimale (décrites quantitativement) des différentes activités définies, étant donnée la disponibilité limitée des ressources terre et main d'oeuvre. Les extrants des activités sont ou bien des produits finaux, qui peuvent être consommés ou vendus, ou bien des produits intermédiaires, qui sont à utiliser comme intrant dans d'autres activités. D'autres intrants qui peuvent être utilisés sont les ressources. La Fig. 1.6 est une illustration de ce processus.

[Figure 1.6.](#) Le processus de production des activités.

La Fig. 1.7 donne une vue globale des éléments qui constituent notre premier modèle PL. On distingue des activités, représentées par des cercles, des ressources, représentées par des doubles rectangles, et des produits finaux et intermédiaires, représentées par des rectangles simples (solide et interrompus, respectivement). Les ellipses, enfin, désignent l'achat d'intrants de l'extérieur du système (engrais, suppléments alimentaires, et main d'oeuvre de l'extérieur de la zone ou de l'exploitation). Les flèches sortant d'un cercle indiquent la production d'un extrant de ce type d'activité que ça soit un produit final ou un produit intermédiaire. Les flèches dirigées vers un cercle indiquent l'utilisation d'un intrant pour ce type d'activité. Les flèches interrompues représentent l'utilisation d'argent pour l'achat des intrants ou la vente des produits finaux. Noter que l'achat d'un produit intermédiaire est aussi considéré comme une activité, qui utilise l'argent comme intrant et a le produit intermédiaire comme extrant.

Figure 1.7. *Diagramme relationnel des principaux composants du modèle PLBM.*

Une distinction est faite entre trois types d'activités. Dans les activités culturelles, la terre, la main d'oeuvre, le capital, les engrais, le fumier et les boeufs de labour sont utilisés, pour produire les produits principaux de culture (mil, sorgho, maïs, niébé, arachide ou coton) et les produits secondaires sont utilisés en tant que fourrage. Dans les activités d'élevage, la main d'oeuvre, le capital, les fourrages et les animaux fournissent du lait, de la viande, du fumier et de la force de traction. Les « activités » de pâturage produisent du fourrage en utilisant la terre comme seul intrant. Chaque activité a sa propre combinaison des quantités de différents intrants et d'extrants. Ces quantités forment la plupart des coefficients techniques du modèle.

Les ressources dans ce modèle sont la terre, la main d'oeuvre et le capital. Le capital n'est pas traité dans le modèle comme une ressource dans le vrai sens du mot. On a calculé seulement le bilan monétaire, mais à l'heure actuelle il n'y a pas une restriction sur par exemple le capital disponible au début de la saison de croissance. Comme produits finaux il y a les produits principaux culturales et animales (lait et viande). Ces produits finaux sont valorisés à leur prix et sont ainsi transformés en capital. Enfin, les produits intermédiaires considérés sont la traction animale, le fumier, et le fourrage.

Des coefficients peu nombreux mais assez importants sont les prix des intrants de l'extérieur (engrais et suppléments), et des produits finaux.

1.4.2.2. La langue de modélisation utilisée

L'utilisation du modèle PL passe par deux étapes qui sont exécutées à l'aide d'un logiciel du nom « XPRESS-MP ». D'abord le modèle est lu par ce qu'on utilise le « modélisateur ». En utilisant la spécification des variables, les restrictions, l'objectif et les coefficients techniques, ce programme met le modèle dans la forme d'un programme linéaire proprement dite. La deuxième phase consiste à calculer la solution optimale au problème ainsi spécifié. Cela se fait à l'aide de « l'optimisateur ». La solution est écrite sur un fichier de texte accessible à n'importe quel logiciel de traitement de texte, et aussi à des logiciels de « spreadsheet » comme le MS-Excel.

Pour mieux faire comprendre le modèle, il est préférable de revenir à l'exemple du sous-chapitre précédent et de donner le modèle dans une forme lisible comme pour le logiciel XPRESS.

MODEL exemple	! Nom du modèle
---------------	-----------------

VARIABLES

Supm	! Superficie maïs
------	-------------------

Supc	! Superficie coton
------	--------------------

CONSTRAINTS

obj : $35.000 * \text{Supm} + 50.000 * \text{Supc}$ \$! fonction objectif
 terre : $\text{Supm} + \text{Supc} < 4$! restriction pour la terre
 mo : $3 * \text{Supm} + 5 * \text{Supc} < 15$! restriction pour la main d'oeuvre

Ce modèle est constitué des parties suivantes :

MODEL donne un nom au modèle ;

VARIABLES définit les variables du modèle ;

CONSTRAINTS décrit les restrictions et les objectifs. Le modèle reconnaît un objectif, si l'expression n'est pas une (in)égalité, mais si c'est suivi par un « \$ ». L'exigence de non-négativité des variables est inclu automatiquement. L'ordre des trois lignes n'est pas important.

Noter le format des restrictions et objectifs. D'abord le nom, suivi par « : », et ensuite la spécification de l'expression d'une manière qui est presque égale à celle utilisé dans la mathématique. Une différence est que les signes « < » et « > » désignent les symboles mathématiques « <= » et « >= », respectivement. Noter également que le texte qui vient après une signe d'exclamation (!) est commentaire, et n'influence pas le modèle en tant que tel. Pour la compréhension humaine, les commentaires dans le texte du modèle sont néanmoins très utiles.

Pour un programme linéaire avec par exemple deux cent au lieu de deux variables, la spécification des restrictions et des objectifs devient un problème (les lignes deviennent très longues ; des erreurs sont difficiles à trouver). C'est pourquoi il y a des possibilités pour faciliter la spécification des restrictions, des objectifs et aussi des variables. Ces possibilités sont expliquées à travers une autre spécification du même problème.

MODEL exemple ! Nom du modèle
 LET NAC = 2 ! Nombre d'Activités Cultureles
 LET mo_disp = 15 ! Disponibilité en main d'oeuvre
 LET ter_disp = 4 ! Disponibilité en terre

VARIABLES

AC(NAC) ! Activités Cultureles [ha]

TABLES

Bmo (NAC) ! Besoin main d'oeuvre période de pointe [homme ha⁻¹]

Rev_net (NAC) ! Revenu net par activité culturelle [Fcfa ha⁻¹]

DISKDATA

Bmo = C :\XPRESS\DATA\bmo_exem.dat

Rev_net = C :\XPRESS\DATA\rnet_ex.dat

CONSTRAINTS

obj : SUM(j=1 :NAC) Rev_net(j) * AC(j) \$

terre : SUM(j=1 :NAC) AC(j) < ter_disp

mo : SUM(j=1 :NAC) Bmo(j) * AC(j) < mo_disp

Considérons d'abord les parties déjà connues, dont la partie MODEL n'a pas changé. Dans la section VARIABLES on trouve au lieu de deux noms un seul nom, mais avec, entre parenthèses, la dimension de la variable. Cette dimension a la valeur NAC, qui est égale à 2, selon la deuxième ligne du modèle. Donc ici on a aussi défini 2 variables : AC1 et AC2 qui correspondent avec Supm et Supc de l'autre modèle. Si on assignait la valeur 200 à NAC, l'expression AC(NAC) aurait définis 200 variables AC001, ..., AC200.

Dans la section CONSTRAINTS les noms des restrictions et de la fonction objectif n'ont pas changé. L'expression qui suit (pour le cas de la fonction objectif) désigne la somme des produits des facteurs Rev_net (j) et AC (j), pour j=1,..., NAC. L'expression équivaut donc à l'équation suivante :

$$\text{Rev_net (1) * AC (1) + Rev_net (2) * AC (2)}$$

ce qui correspond exactement à l'expression de la fonction objectif du modèle précédent si Rev_net (1) et Rev_net (2) ont les valeurs 35000 et 50000. Le vecteur ou tableau de données Rev_net est défini dans la section TABLES avec une même dimension que vecteur de variables AC. Mais les valeurs stockées dans le tableau Rev_net ne sont données dans le texte du modèle, mais le modèle indique le fichier où ces données sont stockés dans la section DISKDATA. Dans ce cas le fichier est MET_EX.DAT. Les données de l'autre tableau défini (Bmo) se trouvent dans le fichier BMO_EXEM.DAT et doivent correspondre aux besoins en main d'oeuvre pour les deux cultures. Les termes indépendants des deux restrictions, enfin, sont identiques avec ceux du modèle précédent, comme le montrent les expressions qui commencent par LET.

Récapulatif, les nouvelles sections utilisées sont les suivantes :

TABLES définit les tableaux (nom et dimension) dans laquelle des coefficients techniques sont stockées ;

DISKDATA indique pour chaque tableau le nom du fichier qui contient les données à stocker.

Les lignes qui commencent par le mot LET définissent des coefficients auxiliaires d'une dimension une (1). De telles lignes peuvent paraître partout dans le modèle. Enfin, noter la formulation conçue des sommes de beaucoup de facteurs à l'aide de l'expression SUM.

1.4.2.3. Explication technique du modèle PLBM

Le texte du modèle régional est donné dans [l'annexe 1.5](#) sauf la partie DISKDATA. Il ne semble pas utile de montrer les noms des fichiers de stockage des données. Dans la suite les autres parties du modèle seront commentées. La partie MODEL est suivie par les commentaires qui expliquent les abréviations utilisées dans les noms des variables les tableaux des données et les unités des variables et des coefficients. Un effort a été fait pour être consistant : le capital A indique toujours « Activité », le capital C indique toujours les cultures, etc. Néanmoins, toutes les variables et tous les tableaux de données ont été expliqués là où ils sont définis à l'aide des commentaires.

Ensuite les dimensions des variables et tableaux sont définies dans la partie indiquée par le mot « DIMENSIONS » ce qui n'est qu'un mot de commentaire. Ainsi on voit que le nombre de cultures considéré dans la zone est 6, le nombre de types de sol 7, etc.

La reste du modèle peut être répartie en 3 parties principales : les variables, les coefficients techniques et les restrictions, y inclu les objectifs.

Variables

Dans la partie qui commence par le mot VARIABLES les variables sont définies. Comme l'indique le commentaire qui suit ce mot, une distinction est faite entre deux types de variables : les « vrais » variables de décision et les variables auxiliaires. Les variables auxiliaires dans le modèle sont des variables dérivées à partir des vrais variables de décision. En principe le modèle pourrait être spécifié et résolu sans les variables auxiliaires mais cela serait beaucoup plus compliqué comme sera montré dans la suite.

Les vrais variables de décision sont les activités d'utilisation de terre (cultures, pâturage, jachère), les activités d'utilisation de résidus (brûlage, litière, etc.), les activités d'élevage et quelques autres activités (achat des suppléments et d'engrais, embauche de main-d'oeuvre de l'extérieur et transport du fumier de la ferme au champ). Toutes ces activités ont été marquées d'un astérix (*). Les variables auxiliaires désignent dans la plupart des cas des besoins et des disponibilités/productions des produits intermédiaires et finaux et servent surtout à faciliter la spécification des différentes restrictions. Les dernières variables auxiliaires sont les variables objectifs : production céréalière, nombre d'animaux., l'utilisation de main-d'oeuvre de l'extérieur, etc.

Les coefficients techniques

Les tableaux contenant les coefficients techniques sont donnés dans la partie TABLES. On trouve

d'abord les tableaux décrivant le rendement ou la productivité des différentes activités par exemple Y1C, dans laquelle le rendement principal est stocké pour toutes les 352 activités culturelles. Ils sont suivis par des tableaux qui concernent les rendements en fertilisants à la ferme ou au champ. Il décrivent combien de matière organique, N,P, et K sont « produits » à la ferme ou au champ par ces activités, que ça soit directement (par exemple brûlage, litière) ou indirectement (par exemple activités de pâturage, de fourrage, de supplémentation) à travers l'ingestion par les animaux et la production de fumier. Directement après on peut trouver des tableaux sur les quantités d'azote perdu (volatilisé) de l'urine des animaux sauf si on utilise les résidus de récolte pour le retenir dans le système et ensuite les données sur le taux de matière organique, N,P et K minimal et maximal dans le fumier transporté. Ces données sont suivies par celles sur les besoins en main-d'oeuvre par activité, les besoins fourragers et les besoins en intrants monétaires. Ce qui reste sont des tableaux de données sur les ressources (superficies, population, main-d'oeuvre) et des données décrivant la définition des activités (type de sol, qualité fourragère, culture, etc). Par exemple, il est nécessaire de savoir non seulement le rendement des activités culturelles, il faut aussi connaître de quelle culture il s'agit et sur quel type de sol le rendement est obtenu. Ce sont ces données qui sont stockées dans les tableaux cul_APC et sol_APC. La liste des tableaux des coefficients techniques finit par les prix des intrants et des extrants.

Restrictions

Dans la section CONSTRAINTS les restrictions sont spécifiées, y inclus les objectifs. La section est répartie en neuf parties, la première ne donne que la définition de certaines variables informatives, la dernière concerne les objectifs. Au milieu on trouve 7 parties dont chacune décrit le(s) bilan(s) d'une ressource ou un produit intermédiaire. Quatre types de restrictions peuvent être distingués. Le *premier* type, qui est le plus fréquent, est la restriction utilisée pour définir des variables auxiliaires. Ce type de restriction est écrit en équation, tandis que les autres restrictions sont décrites en général sous forme d'inégalité. Les restrictions de définition de variables auxiliaires sont indiqués dans le modèle par des noms qui commencent par « dv » (définition variable). Les premières restrictions (dv041 et dv042) par exemple définissent le nombre total d'animaux dans des troupeaux et le nombre total d'animaux d'embouche. Ce sont des variables auxiliaires qui facilitent la définition de la variable objectif ONanm (nombre total d'animaux de la région ou de l'exploitation). Voir sous !OBJECTIFS la ligne du nom « dvobj4 ». Un meilleur exemple de l'utilité des variables auxiliaires est la spécification du bilan d'éléments nutritifs au champ (restriction « fer »). La spécification est très simple et exprime que le besoin (l'utilisation) des différents fertilisants ne peuvent pas dépasser la disponibilité, prenant en compte des achats. Ce besoin et cette disponibilité sont définis par les équations dv20 à dv25. Dans ces dernières équations on observe aussi l'utilisation des indices pour les restrictions. La ligne du nom « dv20 », par exemple définit une équation pour chaque combinaison des indices q et f. En total NQ fois Nfer (=32) équations sont donc définies par cette ligne.

Le *deuxième* type de restriction décrit des bilans ; il limite l'exploitation des ressources et les produits intermédiaires à leur disponibilité. Pour les ressources il s'agit des restrictions « ter » et « mo ». La restriction « ter » contient une expression qui a besoin d'être expliqué. Il s'agit de la deuxième partie de l'intérieur des parenthèses :

|sol_jac(aj).eq.s

Le caractère « | » exprime que la suite est une condition. Dans la somme seront escomptés seulement les activités (indice : aj) qui remplissent cette condition. Dans ce cas, le condition est qu'il doit s'agir d'un sol de type s. L'opérand « .eq. » équivaut au signe d'égalité « = ». Il y a de pareilles expressions pour « > » (.gt.), « < » (.lt.), « >= » (.ge.), « <= » (.le.), d'après les abréviations anglaises.

Tableau 1.13 présente une liste de tous les bilans du modèle. La colonne « nom » se réfère au nom de la restriction dans le modèle, voir [l'annexe 1.5](#).

Tableau 1.13. Liste des bilans du modèle.

Ressource/produit intermédiaires	bilan équilibré exigé par	nom
Terre	type de sol	ter
Produit secondaire au champ	type de sol et culture	p22c
Produit secondaire à la ferme	culture	p2cf
Fourrage saison de pluie	catégorie de qualité	fp
Fourrage globale saison sèche	catégorie de qualité	fs
Fourrage embouche, saison sèche	catégorie de qualité	fsmb
Éléments nutritifs au champ	type de sol	fer
Éléments nutritifs à la ferme	type de sol	ferf
N volatilisable fixé par résidus	nfix	
N volatilisable dans l'urine	nurin	
Temps de broyage pour litière	litbro	
Boeufs de labour	période	anim
Animaux d'embouche	sexe/poids	pime
Main d'oeuvre	période	mo
Main d'oeuvre de l'extérieur	période	mo_ext

Le *troisième* type de restriction décrit certaines exigences techniques qui sont une conséquence de la manière dans laquelle le modèle est spécifié. Par exemple, la restriction désigné par « most » dans la section sur les bilans d'éléments nutritifs est une conséquence du fait que la variable achat d'engrais inclut les 4 fertilisants. L'achat de matière organique n'est néanmoins pas considéré, raison pour laquelle il faut exiger que la variable Aengr(s,1) pour chaque type de sol s est zéro. Les autres restrictions de ce type sont :

supp limite l'achat du supplément (tourteau de coton) à une certaine fraction de la production cotonnière
 at3x limite les ratio N/mo (matière organique), P/mo et K/mo à un certain maximum
 at3n limite les ratio N/mo (matière organique), P/mo et K/mo à un certain minimum
 aetp équilibre les activités de production de troupeau avec les stratégies fourragères par niveau
 d'alimentation

Le *quatrième* type de restriction est celui qui exprime le niveau cible d'objectifs. Il est trouvé seulement dans la partie qui commence par !OBJECTIFS. Dans cette partie les variables objectifs sont définies dans les équations dvobj1 à dvobj8. Des fonctions objectifs à maximiser/minimiser sont définies dans les dernières lignes OBJ1, ..., OBJ7, une pour chacune des 7 variables objectifs. Par défaut le modèle choisit la première fonction objectif du modèle, mais il est possible d'indiquer une autre. Les restrictions sur les variables objectifs sont indiquées par les noms qui commencent par « resobj ». Il y a sept de tels restrictions, mais seulement trois d'entre eux ont une signification : resobj3, resobj5, et resobj7. Ils expriment l'exigence de la production suffisante de viande, de céréales, et de lait, respectivement. Ces exigences sont exprimés en kg par personne présent dans le système (région ou exploitation). Par exemple, un niveau de production de 240 kg de céréales par personne est exigé. Noter que la restriction mo_ext a été classée parmi les bilans ci-dessus. Il serait aussi possible de la considérer comme une restriction sur la variable objectif qui exprime la migration.

C'est le quatrième type de restriction qui est à la base de la technique de la programmation linéaire à buts multiples. En manipulant les valeurs exigés pour les différentes variables objectives, on peut suivre les changements dans la solution optimale et les valeurs des objectifs. Dans les sous-chapitres suivants les valeurs de leurs niveaux cibles seront discutés plus en détail.

1.4.3. Résultats du modèle au niveau petite région (cercle de Koutiala)

1.4.3.1. Eléments de base

Le Chapitre 1.2 a montré que cinq principaux types de sols peuvent être distingués dans le cercle de Koutiala. Sa superficie totale est 9.100 km², la population totale concerne 286.244 habitants (1987).

Six objectifs de développement ont été retenus à l'intention des décideurs :

- le revenu net ;
- la production céréalière ;
- la production de viande ;
- la production cotonnière ;
- la production de lait ;
- le nombre d'animaux.

Le choix de ces objectifs se justifie par le souci des décideurs d'améliorer le revenu dans la région, et d'augmenter la production animale et la production agricole. Dans ces premières analyses avec le modèle, chacun de ses objectifs sera pris par cas comme fonction objectif (Tableau 1.23) dans les

différents scénarios formulés. Il n'y a pas encore eu à cette étape d'analyse avec le processus itératif, décrit dans 1.4.1.2.

Quelques cas de restrictions sont considérés dans la formulation des scénarios

- l'autoconsommation céréalière est fixée à 240 kg personne⁻¹ an⁻¹ (FAO) ;
- l'autoconsommation en viande à 18,25 kg de viande personne⁻¹ an⁻¹ (ESPR, Mopti) ;
- l'autoconsommation en lait à 40 kg d'équivalents de lait liquide personne⁻¹ an⁻¹ (GRM-Mali, an 2000).

D'autres restrictions considérées, seront précisées dans la formulation des scénarios.

Les différents prix considérés pour les intrants-extrants sont exposés au Tableau 1.14. Les prix des intrants au producteur, sont les prix CMDT pratiqués après dévaluation. Par contre les prix des extrants sont des prix moyens en zone de Koutiala avant la dévaluation, car les statistiques sur les prix moyens de tous les extrants dans la zone de Koutiala après dévaluation n'étaient pas encore disponibles à notre niveau. Mais dans les analyses ultérieures ces prix seront considérés avant dévaluation.

Tableau 1.14. Prix des intrants et des extrants au producteur.

prix actuels 1994 (Fcfa kg ⁻¹)	
<i>Intrants</i>	
Azote (N)*	295
Phosphore (P)*	765
Potassium (K)*	295
Tourteau	25
<i>Extrants</i>	
Lait	100
Viande	500
Poids vif	250
Arachide graines	70
Coton (1er choix)	88
Maïs	42
Mil	55
Niébé	70
Sorgho	5

* élément pur

1.4.3.2. Formulation des scénarios de développement

Méthodologie d'analyse

Après la formulation des principaux objectifs de développement au niveau régional (Tableau 1.23), plusieurs scénarios ou stratégies de développement ont été mis au point. Pour chacun de ces scénarios, l'analyse à l'aide du modèle donne des résultats concernant la valeur de chaque objectif. Chaque scénario sera analysé avec le modèle pour connaître la valeur des différents objectifs (ou variables objectives) de développement.

Nous procédons ensuite à la comparaison des valeurs des objectifs selon les différents scénarios. Signalons qu'un seul scénario est composé d'une fonction objectif avec une ou plusieurs restrictions ou sans restriction. Une restriction correspond à une condition économique que l'on doit satisfaire en plus de la fonction objectif principal. On peut ainsi souligner que :

Scénario = fonction objectif +/- restriction(s)

Une première analyse sera effectuée avec le modèle concernant les résultats du scénario de base. La première fonction objectif choisie est « maximiser le revenu », avec laquelle six scénarios de développement ont été formulés (Tableau 1.22) ; parmi lesquels un scénario 0, appelé scénario de base : maximiser le revenu en assurant l'autoconsommation (en céréales, lait et viande).

Une deuxième série d'analyses sera effectuée pour comparer les résultats de ce scénario de base avec ceux des autres scénarios, qui prennent en compte certaines restrictions qui ne sont pas incluses dans le scénario de base. Ensuite nous considérons cinq autres fonctions objectifs en plus de la maximisation du revenu. Il s'agit de la maximisation de :

- la production céréalière ;
- la production cotonnière ;
- la production de viande ;
- le nombre d'animaux ;
- la production laitière.

A partir de ces fonctions objectifs six scénarios seront formulées (Tableau 1.24), parmi lesquels le scénario de base.

Une troisième série d'analyses sera effectuée pour comparer encore les résultats du scénario de base avec ceux des autres scénarios.

Analyse des résultats du modèle pour le scénario de base

Les valeurs des différentes variables objectives sont exposées au Tableau 1.15. Concernant l'emploi, sa valeur est exprimée en nombre d'homme-jours libres n'étant pas utilisés dans les activités incluses dans le

modèle. C'est le nombre d'hj disponibles pour les autres activités. Les conditions de réalisation de ces différents objectifs sont les suivantes :

Tableau 1.15. Valeurs des variables objectives pour le scénario de base.

Variables objectives	Unité	Valeurs
Production céréales	(t)	168.574
Animaux	(-)	589.034
Production de viande	(t)	32.133
Production de coton	(t)	112.237
Production de lait	(l)	83.040
Emploi	(hj libre)	186
Intrants monétaires	(millions Fcfa)	14.584
Revenu	(millions Fcfa)	36.590

Allocation du disponible en terres : Pour la réalisation des objectifs de production sur le total des superficies disponibles près de 19 % sont allouées par le modèle aux activités de cultures et 81,5 % aux pâturages (Tableau 1.16). Dans la répartition des superficies cultivées le modèle a choisi le maïs intensif, ainsi que la culture intensive du niébé et du coton. Mais le mil et le sorgho n'ont pas été choisis (Tableau 1.17).

Tableau 1.16. Utilisation des terres.

	km ²	%
Superficies totales cultivées	1680	18,5
Jachères	0	0
Pâturages	7421	81,5
Total	9101	100

Tableau 1.17. Répartition des superficies cultivées par activités de cultures.

Cultures	Superficie	
	km ²	%
Maïs intensif	280	17
Niébé intensif	990	59

Coton intensif	410	24
Total superficies totales cultivées	1680*	100

* Représente 18,5 % de la superficie totale du cercle.

Production céréalière : Ce sont les activités de maïs intensif qui sont choisies par le modèle avec une production totale de 168.574 tonnes dans ce scénario de base.

Production animale : Il y a une production totale de 32.133 tonnes de viande et 83.040 tonnes de lait. Il y a un nombre d'animaux de 582.034 têtes sur la base duquel cette production animale doit être réalisée, avec uniquement des activités de troupeau. Cette production animale importante justifie l'allocation par le modèle de 59 % des superficies cultivées en niébé intensif, ainsi que l'allocation de 81,5 % de la superficie totale du cercle aux pâturages. Une production importante de fourrages provient aussi de la culture du maïs intensive (Tableau 1.18).

Tableau 1.18. La production agricole.

Cultures	Production (milliers de tonnes)	
	Graines	Fourrages
Maïs intensif	170	125
Niébé intensif	255	370
Coton intensif	112	-

Les intrants monétaires : Pour la réalisation de l'ensemble des activités un total de 14.585 millions sont consacrées aux intrants monétaires, dont 71 % sont investis dans la pratique des cultures intensives, 16 % dans l'élevage et 8 % dans l'utilisation de la main-d'oeuvre extérieure (Tableau 1.19).

Tableau 1.19. Importance des intrants monétaires par type d'activités.

	Intrants monétaires	
	millions (Fcfa)	(%)
Cultures :		
Engrais	5.974	41
Autres	4.363	30
Elevage	2.356	16
Main-d'oeuvre extérieure	1.156	8
Autres	735	5
Total	14.584	100

Le revenu monétaire global : Il correspond au Produit brut monétaire de réalisation des différentes activités de la région pour le scénario de base et a été estimé à 51.173 millions (Fcfa) dont les 32 % proviennent de la production animale (lait, viande) et les 68 % des activités de cultures intensives choisies (Tableau 1.20).

Tableau 1.20. Importance du revenu monétaire brut par type d'activités.

	Revenu monétaire brut	
	millions (Fcfa)	(%)
Production de viande	8.033	16
Production de lait	8.304	16
Cultures	34.836	68
Total	51.173	100

Le revenu net : Il est estimé à partir de la différence entre le revenu monétaire total et le total des investissements en intrants monétaires (Tableau 1.21). Signalons qu'ultérieurement les analyses tiendront compte des niveaux d'élasticité-prix, car une augmentation des productions risquées de faire chuter les prix de ces productions.

Tableau 1.21. Niveau de revenu net régional dans le cas du scénario de base.

	millions (Fcfa)
Revenu monétaire total	51173
Valeur intrants monétaires	14584
Revenu net total	36589
Revenu net km ⁻² disponible	4
Revenu net km ⁻² utilisé	4
Revenu net habitant ⁻¹	0,128
Revenu net par main-d'oeuvre disponible	0,232

Analyse comparée des scénarios préliminaires, formulés sur la base de la fonction objectif « maximiser le revenu »

Les différents scénarios formulés sur la base de la maximisation du revenu comme fonction objectif sont présentés au Tableau 1.22. Ces scénarios ont été formulés de manière préliminaire pour mieux étayer la

méthodologie, et ne constituent en aucun cas des résultats définitifs.

Tableau 1.22. Formulation de stratégies de développement au niveau petite région à l'aide du modèle PLBM.

Scénarios	Formulation de scénarios	
	Fonction objectif	Restrictions
S 0	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.
S I	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - pas de main d'oeuvre extérieure (la région est fermée pour la main-d'oeuvre).
S II	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région ; - perte permis en fertilisants (MO, N, P et K) respectivement de (50%, 50%, 5%, 50%) : condition de non durabilité.
S III	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région ; - sans utilisation d'engrais : les sources d'éléments nutritifs ne sont que locales.
S IV	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région ; - hausse du prix des engrais de 25%.
S V	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région ; - hausse du prix des extrants.

Les résultats d'analyse à l'aide du modèle pour chaque scénario sont comparés à ceux du scénario de base (S 0) pris comme référence.

Dans le cas du scénario S I, où l'on veut maximiser le revenu tout en assurant l'autoconsommation mais sans main-d'oeuvre extérieure, toutes les productions agricoles chutent, notamment la production cotonnière. Et le revenu baisse de 5 %. Ceci suppose que si l'on veut maximiser le revenu, la région ne peut pas se passer de la main-d'oeuvre extérieure.

Dans le cas du scénario S II, on veut maximiser le revenu régional, en assurant l'autoconsommation, avec une perte en fertilisants de l'ordre de 50 %, 50 %, 5 % et 50 % de matière organique, N, P et K,

respectivement. On observe par rapport au scénario de base une augmentation de la production céréalière de 24 % et une augmentation de la production cotonnière de 2 %. Il est question d'une hausse du revenu régional de 13 %. La production animale, qui n'utilise pas d'engrais, augmente légèrement. L'augmentation de la production céréalière est réalisée sur la base d'une situation de non durabilité (pertes en fertilisants), c'est-à-dire un épuisement du sol, avec augmentation du revenu de 13 %.

Dans la situation du scénario S III, on maximise le revenu régional, en assurant l'autoconsommation, avec 30.000 actifs externes et sans utilisation d'engrais. Par rapport au scénario de base, il y a une forte diminution des valeurs des différents objectifs. Il n'y a aucune production de coton et la production céréalière chute de 59 %. La production animale (nombre d'animaux, viande, lait) baisse aussi, mais moins que la production céréalière. On observe ainsi une chute du revenu régional de 44 %.

Dans cette restriction de non utilisation d'engrais, il est très difficile d'atteindre une augmentation du revenu régional et d'assurer l'autoconsommation de la population. Ceci suppose qu'il est très difficile que la région se passe de l'utilisation d'engrais qui conditionne la pratique des activités durables de coton, de céréales et indirectement la pratique de la production animale. Aussi dans cette situation de non utilisation d'engrais, il est prévu que la région n'utilise que les sources de fertilisants internes (fumier notamment), qui ne semblent pas suffir dans une situation de durabilité recherchée.

Dans le cas du scénario S IV, on veut maximiser le revenu, en assurant l'autoconsommation avec 30.000 actifs externes et une hausse du prix de l'engrais de 25 %. Ceci entraîne, par rapport au scénario de base, une hausse de 10 % de la valeur des intrants monétaires, mais il y a une stagnation de la production céréalière. La production cotonnière et de la production animale augmente de 23 %, le revenu baisse de 4 %.

Dans la situation du scénario S V on veut maximiser le revenu, en assurant l'autoconsommation avec 30.000 actifs externes et une hausse du prix des extrants (prix coton, etc.). C'est la production cotonnière qui est favorisée avec une hausse de 3 %. La production céréalière baisse de 59 % et le revenu augmente de 107 %.

Tableau 1.23. Scénarios de maximisation du revenu du cercle de Koutiala avec différentes restrictions. Les résultats des scénarios I à V ont été présentés en rapport avec ceux du scénario 0.

Objectifs	S 0	S I (Sans main d'oeuvre ext érieure) (%)	S II (Pertes fertilisants permis) (%)	S III (Pas d'engrais) (%)	S IV (Hausse prix des engrais 25 %) (%)	S V (Hausse prix extrants) (%)
céréales	169 10 ³ t	-3	+24	-59	0	-59
animaux	589 10 ³ t	-4	+3	-34	0	-4

viande	3210 ³ t	-6	+1	-37	0	-3
coton	112 10 ³ t	-19	-2	-100	0	+3
lait	83 10 ³ l	+4	+9	-19	0	-11
emploi	186 hj libre	+5	-11	+46	0	+3
intrants	15 10 ⁹ Fcfa	-23	-16	-73	+10	+1
revenu	37 10 ⁹ Fcfa	-5	+13	-44	-4	+97

Analyse comparée des scénarios formulés sur la base de différentes fonctions objectifs

En plus de la fonction objectif « Maximiser le revenu » d'autres fonctions objectifs ont été considérées dans la formulation de scénarios. Ils concernent la maximisation de la production agricole (cotonnière et céréalière) et de la production animale (lait, viande, nombre d'animaux). Les différents scénarios formulés sont présentés au Tableau 1.24. Les résultats d'analyse avec le modèle sont présentés avec les valeurs des différents objectifs pour chaque scénario. Il s'agit d'une analyse avec la satisfaction de l'autoconsommation comme restriction générale pour tous les scénarios, y compris le scénario de base. Les résultats de cette analyse (Tableau 1.25) montre les valeurs des différentes variables objectives pour chacun de ces scénarios.

On constate ainsi que dans le cas du scénario de maximisation de la production cotonnière (S VI), en comparaison avec le scénario de base, la production céréalière et la production animale chutent. Elles chutent au profit de la production cotonnière, qui augmente de 36 %. Malgré cette croissance de la production cotonnière, le revenu régional a baissé de 81 % à cause de la baisse des autres productions.

Dans le cas des 2 scénarios, la maximisation du nombre d'animaux (S VII) et de la production de viande (S VIII), la production céréalière augmente de 23 %. Ceci à cause de l'utilisation des résidus certainement. Le nombre d'animaux augmente de 12 et de 61 % respectivement, par contre la production cotonnière est nulle.

Pour le scénario maximisation de la production de céréale (S IX), il n'y a aucune production cotonnière. La production de viande et le nombre d'animaux diminue, et la production céréalière augmente de 159 % (de 17.000 à 44.000 tonnes).

Dans le cas du scénario maximisation de la production de lait (S X), ce sont les valeurs objectifs nombre d'animaux et production laitière qui augmentent de 7 et 50 %, respectivement. Il n'y a aucune production cotonnière, mais la production céréalière augmente de 24 %.

Tableau 1.24. Formulation de stratégies de développement au niveau petite région à l'aide du modèle PLBM.

Scénarios	Formulation de scénarios	
	Fonction objectif	Restrictions
S 0	Maximiser le revenu	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.
S VI	Maximiser la production cotonnière	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.
S VII	Maximiser la production de viande	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.
S VIII	Maximiser le nombre d'animaux	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.
S IX	Maximiser la production céréalière	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.
S X	Maximiser la production laitière	- assurer l'autoconsommation (en céréales, lait, viande) ; - possibilité de faire recours à 30.000 actifs externes à la région.

Tableau 1.25. Valeurs des variables objectives pour les différents scénarios (stratégies de développement au niveau régional) sans restrictions sur l'autoconsommation (en 1000 tonnes).

Objectifs	Scénarios					
	S 0	S VI	S VII	S VIII	S IX	S X
Céréales	17	0	21	21	44	21
Animaux	59	25	66	95	14	63
Viande	32	7	39	26	4	32
Coton	11	15	0	0	0	0
Lait	8	1	9	4	1	12
Emploi	19	26	21	21	29	21
Intrants	15	9	14	14	9	12
Revenu	37	7	27	25	12	24

Une autre analyse a été effectuée, sans aucune restriction sur l'ensemble des fonctions objectifs, c'est-à-dire que l'autoconsommation n'est plus une exigence, même dans le cas du scénario de base. Dans cette situation de non restriction sur l'autoconsommation, nous observons les mêmes tendances des variables objectives que dans l'analyse précédente, celle des scénarios avec restriction sur l'autoconsommation.

L'exception est formée par le scénario parallèle du scénario maximisation de la production cotonnière (S VI). Il n'y a aucune production céréalière, et ceci au profit de la production cotonnière qui s'accroît.

1.4.3.3. Conclusions

La comparaison entre scénarios révèle que l'affectation des ressources est fonction de la stratégie formulée. Au sens que si l'on formule par exemple une stratégie visant à maximiser la production cotonnière, le modèle favorisera la variable objective « production cotonnière » par rapport aux autres variables objectives (sauf cas de restrictions). Il faut donc que le décideur sache ce qu'il veut avec les moyens disponibles.

L'analyse de l'ensemble de ces scénarios à l'aide de la méthode PLBM permet aux décideurs :

- de mieux formuler les objectifs de développement ;
- de prévoir les conséquences de ses prises de décisions sur les différents objectifs qu'ils veulent atteindre pour l'ensemble de la communauté ;
- de mieux orienter les prises de décision en prenant compte la disponibilité des ressources.

Dans les analyses futures, les scénarios seront formulés en prenant en compte plusieurs contraintes (ou restrictions) pour satisfaire plusieurs exigences socio-économiques.

1.4.4. Résultats du modèle au niveau Ferme

1.4.4.1. Eléments de base

Dans le cadre du modèle au niveau ferme, on se place dans l'optique d'une organisation de l'économie sociale dans laquelle l'agriculture et l'élevage sont mutuellement bénéfiques. Le modèle décrira une situation paysanne dans laquelle le paysan est propriétaire de ses moyens de production. Il dispose d'une quantité donnée de ressources en terre, animaux, matériel et une main-d'oeuvre familiale. Sa production se base fondamentalement sur son travail personnel et celui des membres de sa famille. Son objectif immédiat est de satisfaire ses besoins et ceux de sa famille. Il cherche à optimiser ses revenus à travers la combinaison optimale des activités de culture et d'élevage dans les conditions d'objectifs de production bien définis (auto-consommation, etc.) et des ressources disponibles limitées (main-d'oeuvre et terre).

Les processus à la base du modèle ferme sont simplifiés dans le schéma de la Fig. 1.8. La ferme ici considérée correspond à une exploitation paysanne avec une taille de famille de 18 personnes. En fonction des scénarios que nous développons, elle aura tantôt 55 tantôt 25% des membres de la famille comme actifs. En terme de ressources animales, le cheptel bovin et le nombre de boeufs de labour qu'elle peut avoir sont calculés par le modèle. Quant à l'utilisation de la ressource terre nous partons de deux hypothèses. Dans un premier temps on suppose que la ferme dispose de 12,5 ha utilisables tant pour les activités de cultures que pour les activités pâturage (sol limono-argileux LIAR ; Tableau 1.5). Dans un second temps on admet qu'elle peut avoir 12,5 hectares de chacun de 7 types de sol qui existent dans la région. Dans ce dernier cas on exige que seul le sol limono-argileux (LIAR ; Tableau 1.5) peut être utilisé tant pour les cultures que pour les pâturages.

En matière de rémunération on assume que la main-d'oeuvre familiale n'est pas rémunérée. Quand à la main-d'oeuvre extérieure, son recrutement n'est pas permis dans les scénarios développés.

L'objectif de cette étude est de mettre à la disposition du paysannat et des décideurs un outil de gestion, de prise de décision et de maîtrise des systèmes de production durables en fonction des ressources disponibles limitées. L'intérêt du modèle réside dans la possibilité d'envisager divers objectifs en modifiant les contraintes et dans la réflexion sur les modifications de solution ou éléments de solution résultant des changements d'objectifs. Il s'agit d'analyser non seulement l'impact d'un certain objectif sur la solution, mais aussi l'effet du changement d'un objectif sur les niveaux pouvant être atteints par d'autres objectifs. Il tente d'expliquer l'interaction entre les objectifs et les moyens ou ressources disponibles du paysan.

Figure 1.8. Schéma simplifié des processus à la base du modèle ferme.

Le prix de cession au comptant de l'urée et du phosphate d'ammoniaque en zone CMDT pour la campagne agricole 1994/1995 est fixé à 6.756 et 10.400 Fcfa le sac de 50 kg respectivement. Les prix de N et P sont calculés en fonction de leur taux dans chaque type d'engrais. Un kg d'azote pur coûte 295 Fcfa. (CMDT, 1994), celui de P pur 765 Fcfa le kg. Le prix de K pur est supposé égal à celui de l'azote (Tableau 1.14).

L'étude de coût de production de l'IER (DPAER, 1991) donne l'amortissement annuel des différents matériels. Cette donnée sera prise comme élément de coût du matériel.

On utilise un prix moyen de 55, 50 et 42 Fcfa kg⁻¹ respectivement pour le mil, sorgho et maïs (Tableau 1.14). Ces prix moyens sont des résultats de calcul sur base des données de l'OPAM/SIM, 1989-1994, 1994 et DNSI, 1991). Un prix moyen de 70 Fcfa kg⁻¹ d'arachide (DNSI, 1991), 88 Fcfa kg⁻¹ de coton premier choix et 70 Fcfa kg⁻¹ de niébé (DNSI, 1991) sont retenus.

On traitera quatre scénarios dénommés A, B, C et D ayant tous les mêmes variables objectives (Tableau 1.27). Dans tous les scénarios la fonction objectif est la maximisation du revenu net. Il s'agit d'une utilisation unique du modèle. Le processus itératif d'optimisation, décrite sous 1.4.1.2, n'a pas encore été exécuté. Le Tableau 1.26 résume les scénarios développés.

Deux situations seront analysées : une première situation dans laquelle l'accès aux pâturages est limitée (seul 12,5 ha du sol limon argileux sont disponibles pour les activités de culture et d'élevage) et une autre dans laquelle l'accès aux parcours est quasi libre (7 x 12,5 ha disponible). La première situation correspond aux scénarios A et B et la deuxième aux scénarios C et D. On suppose une disponibilité de 10 actifs et 4 boeufs de labour dans les scénarios A et C, et 5 actifs et 2 boeufs de labour pour les scénarios B et D. Dans tous les scénarios on exige l'auto-consommation céréalière (240 kg personne⁻¹ an⁻¹), la consommation de lait (40 l personne⁻¹ an⁻¹) et la consommation de viande (18,25 kg personne⁻¹ an⁻¹). La main-d'oeuvre extérieure n'est pas autorisée.

Tableau 1.26. Scénarios développés par rapport à la fonction objectif de la maximisation du revenu net.

Scénarios	A	B	C	D
Pâturages	restreint	restreint	« libre »	« libre »
Main-d'oeuvre	10	5	10	5
Boeufs de labour	4	2	4	2

1.4.4.2. Résultats

Les résultats des différents scénarios sont consignés dans le Tableau 1.27.

Analyse des scénarios

De l'analyse des données du Tableau 1.27 il ressort dans le cas du Scénario A, qu'il faut produire du coton, du niébé et du sorgho. Le troupeau bovins est de 15 têtes. Il permet de produire de la viande et du lait. Le revenu net est de 794.000 Fcfa. L'auto-consommation est satisfaite par la production de sorgho. L'excédent de lait, viande, sorgho et la production de coton et niébé seront vendus.

L'auto-consommation est couverte par la production de maïs dans le scénario B, ce que l'on trouve également pour les scénarios C et D. On constate en plus une diminution notable de l'effectif du bétail et de production du niébé.

Dans le cas du scénario C et D le nombre d'animaux devient très important, ainsi que la production du lait et de la viande. Dans le scénario C, la production du niébé est presque égale à celle du scénario A, mais le dédoublement du nombre d'actifs et de boeufs de labour (scénario D) fait disparaître la culture de niébé. Le revenu net chute aussi dans le cas de scénario D par rapport à C. Mais le revenu par actif de D est le plus élevé des quatre scénarios. Dans aucun cas, la maximisation du revenu net mène le modèle au choix des cultures d'arachide et de mil.

Tableau 1.27. Valeurs des variables objectives pour 4 scénarios au niveau ferme, ayant tous la maximisation du revenu net comme fonction objectif.

Scénarios	A	B	C	D
Pâturages	restreint	restreint	« libre »	« libre »
Main-d'oeuvre	10	5	10	5
Sol	LIAR	LIAR	LIAR	LIAR

Objectifs				
Maïs (tonnes)	0,0	4,3	4,3	4,3
Mil (tonnes)	0,0	0,0	0,0	0,0
Sorgho (tonnes)	4,8	0,0	0,0	0,0
Arachide (tonnes)	0,0	0,0	0,0	0,0
Niébé (tonnes)	7,6	2,0	7,0	0,0
Coton (tonnes)	3,7	3,2	5,5	2,3
Animaux (têtes)	15,0	9,0	51,0	53,0
Viande (tonnes)	0,7	0,6	2,7	2,0
Lait (tonnes)	1,5	1,4	9,3	6,8
Temps libre (hj)	279,0	255,0	210,0	187,0
Coût total (1000 Fcfa)	430,0	241,0	47,0	162,0
Revenu net (1000 Fcfa)	796,0	434,0	2054,0	1194,0

Bilans agro-écologique et monétaire

Le Tableau 1.28 présente l'utilisation des terres par scénario et par activité.

Tableau 1.28. L'utilisation des terres (ha par activité) dans les scénarios divers.

Scénarios	A	B	C	D
pâturage	restreint	restreint	« libre »	« libre »
main d'oeuvre	10	5	10	5
boeufs de labour	4	2	4	2
sorgho	0,6	0,0	0,0	0,0
maïs	0,0	0,4	0,4	0,4
niébé	2,6	0,7	2,4	0,0
coton	1,4	1,2	2,0	0,8
total culture	4,6	2,3	4,8	1,2
jachère	0,0	0,0	0,0	2,6
pâturage sur terre de culture	7,9	10,3	7,7	8,7
pâturage naturels	-	-	75,0	75,0
pâturage total	7,9	10,3	82,7	83,7

De l'analyse des données il ressort que plus la main-d'oeuvre est limitée plus la part de terre allouée aux

pâturages est élevée (comparez B avec A, et D avec C). Ce n'est que dans le cas D que la disponibilité de main d'oeuvres ne suffit plus pour une valorisation directe de l'ensemble de la superficie disponible ; quelques hectare sont mises en jachère.

Pour chaque scénario, le modèle a choisi certaines formes d'utilisation des produits intermédiaires « résidus » et « fumier » (Fig. 1.8), formulées comme activités individuelles dans 1.3.1.1 et expliquées dans la suite. Dans cette stade préliminaire, il est inutile de présenter les choix du modèle en détail. Il faut se réaliser cependant que ces choix déterminent les bilans de la matière organique du sol ainsi que les bilans d'éléments nutritifs, comme ils déterminent le bilan monétaire présenté ci-dessous. Quelques résultats des choix faits par rapport aux quatre scénarios sont présentés comme illustration.

La disponibilité de matière organique dépasse les besoins des champs dans tous les scénarios. Dans le scénario A il faut cependant une récirculation des résidus agricoles à côté de l'utilisation du fumier disponible. Dans les trois autres cas le fumier en soi suffit déjà, pour les scénarios C et D, avec une grande superficie de parcours et un effectif de bétail élevé, le fumier suffit largement.

Plus les pâturages sont « libres », moins importants sont les achats des éléments N, P et K. Dans les conditions de pâturage restreint, les achats apportent de l'ordre de 80 % des besoins en azote, qui se lèvent à 560 et 390 kg pour les scénarios A et B. Dans les conditions de pâture « libre » les achats n'apportent que 57 et 22 % des besoins en azote (C et D respectivement).

L'achat d'engrais est zéro pour la potasse dans le cas des scénarios C et D, il est négligeable pour le phosphore dans ces cas. Ceci malgré des besoins plus ou moins comparables à ceux de A et B, des besoins qui sont couverts par l'apport de fumier. L'achat de potasse est aussi encore zéro pour scénario B, avec un besoin de la ferme de presque 200 kg, il est un tiers du besoin de 470 kg dans le cas de A. Pour le phosphore les achats sont respectivement de l'ordre de 70 et 60 % pour les besoins de 120 et 60 kg des scénarios A et B.

Tableau 1.29. Le compte monétaire pour les quatre scénarios.

Scénarios	A	B	C	D
pâturage	restreint	restreint	« libre »	« libre »
main d'oeuvre	10	5	10	5
boeufs de labour	4	2	4	2
Dépenses				
culture	121	63	128	35
élevage	46	42	205	101
engrais	241	125	106	18
autres	19	9	32	7

total	427	239	471	161
Recettes				
culture	876	386	935	169
lait	155	141	928	680
viande	192	146	662	506
total	1223	673	2525	1355
Revenu net	796	434	2054	1194

Le Tableau 1.29 présente les comptes monétaires obtenus pour les quatre scénarios. Il s'agit des dépenses et des recettes à la base des revenus nets du Tableau 1.27. Les recettes dépassent les dépenses 2 à 3 fois pour les scénarios A et B; pour C et D c'est 5 et 8 fois. Les recettes absolues étant les plus élevées dans ces derniers cas, on enregistre donc les niveaux de revenu net de loin les plus importants quand les pâturages sont « libres ». Ce phénomène s'explique d'un coté par des achats en engrais plus faibles et de l'autre par des recettes en lait et viande beaucoup plus importantes. Dans les conditions de pâture restreinte, le coût des engrais représentent plus de 50% du coût total. Les recettes des cultures dépassent celles de l'élevage pour A et B, pour C et D la situation opposée est observée.

Conclusions

De l'analyse des résultats il ressort que chaque changement de ressources (parcours et main-d'oeuvre) a un impact sur les niveaux atteints par les différents objectifs, en passant d'un scénario à l'autre. L'allocation des ressources est fonction des objectifs visés, des ressources disponibles et des contraintes imposées. C'est ainsi que le modèle présenté peut devenir un instrument de planification, de prise de décision, de maîtrise et de gestion des exploitations paysannes. Il permet de se rendre compte des modifications profondes que peut engendrer le changement de tel ou tel objectif, de telle ou telle contrainte. D'où son intérêt tant pour les décideurs que pour le paysan.

1.5. Références

Bationo, A. & A.U. Mokwunye, 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production : With special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. Dans: Mokwunye (ed), 1991.

Breman, H. & N. de Ridder (eds), 1991. [Manuel sur les pâturages des pays sahéliens](#). ACCT, CTA, Karthala, Paris, 485 pp.

Breman, H. & N. Traoré (eds), 1987. Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes Mali Sahel d(86)302 Club du Sahel/CILSS/OECD, Paris, 243 pp.

- Brossier J. & E.J. Jager, 1984. Analyse technico-économique d'unités de production agricole sénoufo à Fonsébougou. Wageningen, Université agricole, 150 p. (Mém. d'Ing Agr.).
- Christianson, C.B.A. & P.L.G. Vlek, 1991. Alleviating soil fertility constraints to food production in West-Africa : efficiency of nitrogen fertilizers applied to food crops. Dans: Mokwunye (ed), 1991.
- Christianson, C.B.A., Bationo, J. Henao & P.L.G. Vlek, 1990. Fate and efficiency of N fertilisers applied to pearl millet in Niger. *Plant and Soil* 125, 221-231.
- CMDT/DTDT/Service Matériel Agricole. Décision de Direction n° 17/94MM/fc.
- Cochemé, J. & P. Franquin, 1967. Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique occidentale. World Meteorological Organisation. Technical Report no. 86, 136 pp.
- DNSI, 1991. Comptes économiques du Mali. Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique, Bamako.
- DPAER/IER. Détermination des coûts de production des principaux produits agricoles; Campagne 1990/91, Division Planification Agricole et Economie Rurale, IER, Bamako.
- DRSPR. Prix unitaire des produits en agriculture (Input & Output) de 1988 à 1992. Division Recherche sur les Systèmes de Production Rurale, Bamako.
- Duivenbooden, N. van, 1992. Sustainability in terms of nutrient elements, with special references to West-Africa. CABO-DLO report 160. Wageningen, The Netherlands, 261 p.
- Duivenbooden, N. van & P.A. Gosseye (Eds), 1990. Compétition pour des ressources limitées: le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 2. Productions végétales, animales et halieutiques. CABO, Wageningen & ESPR, Mopti. 266 p. + annexes
- Feller, C.E. Fritsch, R. Poss & C. Valentin, 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). Dans : Cahiers, ORSTOM, série Pédologie, vol XXVI, p. 25-36.
- Heemst, H.D.J. van, J.J. Merkelijn & H. van Keulen, 1981. Labour requirements in various agricultural systems. *Quart J. Int. Agr.* 20, 178-201.
- Hoogmoed, W.B. & L. Stroosnijder, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. I. Rainfall and infiltration. *Soil and Tillage Research* 4, 5-23.
- Hijkoop, J., J. v.d. Poel & B. Kaya, 1991. Une lutte de longue haleine...., Aménagements anti-érosifs et

gestion de terroir. Systèmes de production rurales au Mali: volume 2. Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali; Institut Royale des Tropiques (KIT), Amsterdam, 154 p.

Kébé, B, 1993. Croissance démographique et intensification agricole au Mali: Modélisation technico-économique des systèmes agraires villageois, thèse de doctorat, ENSA, Montpellier, 246 pp. + 32 pp. annexes.

Ketelaars, J.J.M.H. & E.J. Bakker, (en préparation). L'élevage quantifié : calcul des intrants et extrants à différents niveaux de production.

Keulen, H. van, 1990. A multiple goal programming base for analysis of agricultural research and development. Dans : R. Rabbinge, J. Goudriaan, H. van Keulen, H.H. van Laar & F.W.T. Penning de Vries (eds). Theoretical Production Ecology: reflections and prospects Simulation monographs, Pudoc Wageningen, p. 265-276.

Keulen, H. van & H. Breman, 1990. Agricultural development in the West African Sahelian Region: a cure against land hunger? Agriculture, ecosystems and environment 32, 177-197.

Keulen, H. van & F.R. Veeneklaas, 1993. Options for agricultural development: a case study for Mali's fifth Region. Dans : F.W.T. Penning de Vries, P. Teng & K. Metselaar (eds). Systems approaches for agricultural development, Pudoc, Wageningen, p. 367-380.

Krul, J.M., F.W.T. Penning de Vries & K. Traoré, 1982. Les processus du bilan d'azote. Dans : [F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djitèye \(eds\), p. 226-246.](#)

Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de l'environnement, 1992. Schéma directeur du secteur développement rural. Vol 2 : Stratégies de développement, 223 p.

Ministère chargé des Ressources naturelles et de l'Elevage: Politique laitière du Gouvernement du Mali, 1985, Bamako.

Mokwunye, A. Uzo (eds), 1991. Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa. Developments in plant and soil sciences. Kluwer Academic publishers in cooperation with IFDC (partly reprinted from Fertilizer Research 29, no. 1 (1991). ISBN 0-7923-1221-X.

Nijkamp, P. & J. Spronk, 1980. Interactive multiple goal programming: An evaluation and some results. Dans : G. Fandel & T. Gal, eds. Multiple criteria decision making, theory and application. Springer Verlag, Berlin, p. 278-293.

OPAM/SIM, 1994. Données de base de 1989 à 1994. OPAM/SIM, Bamako.

- Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye (eds.), 1982. [La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle](#). Agric. Res. Rep. 918. Pudoc, Wageningen. 525 pp.
- PIRT, 1983a. Les ressources terrestres au Mali. Volume I. Atlas. Mali land and water resources. PIRT. Tams, New York.
- PIRT, 1983b. Les ressources terrestres au Mali. Volume II. Rapport technique. Mali land and water resources. PIRT. Tams, New York.
- PIRT, 1983c. Les ressources terrestres au Mali. Volume III. Annexes. Mali land and water resources. PIRT. Tams, New York.
- Pol, F. van de , 1992. Soil mining. An unseen contributor to farm income in Southern Mali. Bulletin 325. Royal Tropical Institute Amsterdam 47 p.
- Ridder, N. de & H. Breman, 1991. Evaluation de la production des pâturages. Evaluation globale. Chap II.2 dans : [Breman & De Ridder \(1991\), p. 99-131](#).
- Ridder, N. de, H van Keulen, H. Breman & P.W.J. Uithol, 1991. Justification scientifique: La production végétale. Chap. III.2. dans [Breman & De Ridder, p. 293-357](#).
- Romero, C. & T. Rehman, 1989. Multiple Criteria Analysis for agricultural decision making Elsevier, Amsterdam, 241 pp.
- Schweigman, C., 1993. Applications de la recherche opérationnelle : problèmes de l'agriculture dans les pays en voie de développement, ESPGRN, Sikasso, 199 pp.
- Sijms, J., 1992. Food security and policy interventions in Mali Tinbergen Institute, Erasmus University of Rotterdam, Netherlands 199 pp.
- Spharim, I., R. Spharim & C.T. de Wit, 1992. Modelling agricultural development strategy. Dans : Th. Alberda *et al.* (eds), Food from dry lands. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. p 159-192.
- Spronk, J. & F.R. Veeneklaas, 1983. A feasibility study of economic and environmental scenarios by means of interactive multiple goal programming. Regional Science and Urban Economics 13, 141-160
- Stroosnijder, L. & W.B. Hoogmoed, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. II. Tillage and its effect on the water balance. Soil and Tillage Research 4, 321-337.
- Stroosnijder, L. & D. Koné, 1982. Le bilan d'eau du sol. Dans : [F.W.T. Penning de Vries & M.A.](#)

[Djitèye \(eds\)](#), p. 133-180.

Tanner, C.B. & T.R. Sinclair, 1983. Efficient water use in crop production. Research or Re-search? Dans Taylor et al. (eds.; 1983), p. 1-27.

Taylor, H.M., W.R. Jordan & T.R. Sinclair (eds), 1983. Limitations of efficient water use in crop production. American Society of Agronomy. ASA monographs Inc. Madison, Wi, USA.

Veeneklaas, F.R., S. Cissé, P.A. Gosseye, N. van Duivenbooden & H. van Keulen, 1991. [Compétition pour des ressources limités : le cas de la cinquième région du Mali: Rapport no 4, Scénarios de développement](#). CABO/ESPR, CABO, Wageningen, 143 pp + 37 pp annexes.

Verberne, E.L.J, J. Hassink, P. de Willigen, J.J.R. Groot & J.A. van Veen, 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. Neth. J. Agr. Science 38, 221-238.

Vlaar, J.C.J., 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. Rapport d'une étude effectuée dans le cadre de la collaboration entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou, Burkina Fasso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), 99 p. + annexes.

Wischmeier, W.H. & D.D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no. 537, 58 pp.

Wit, C.T. de, H. van Keulen, N.G. Seligman & I. Spharim, 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development Agricultural systems 26, 211-230.

Wolf, J., C.T. de Wit, B.H. Janssen & D.J. Lathwell, 1987. Modelling long-term crop response to fertiliser phosphorus I. The model. Agron. J. 79, 445-451.

1.6. Annexes

Annexe 1.1. Définition des activités ; leurs intrants et extrants et interrélations.

Activité	critères	unité	intrants *	extrants *
	de définition			
Culture	climat	ha	terre	produit principale (f)
	sol		capital	résidu/fourrage (c)
	culture		main d'oeuvre	MOST (f)

	intensité		MOST (c)	NPK (f)
	mécanisation		NPK (c)	
	type de labour		boeuf de labour	
	paillage			
Brûlage des résidus	climat	kg	main d'oeuvre	MOST (c)
	sol		résidu (c)	NPK (c)
	culture			
Enfouissement des résidus	climat	kg	capital	MOST (c)
	sol		main d'oeuvre	NPK (c)
	culture		résidu (c)	
			boeuf de labour	
Transport des résidus	climat	kg	capital	résidu/fourrage (f)
	sol		main d'oeuvre	
	culture		résidu (c)	
Transport de fumier	climat	UMO	capital	MOST (c)
	sol		main d'oeuvre	NPK (c)
			MOST (f)	
			NPK (f)	
Fabrication de litière	culture	kg	main d'oeuvre	MOST (f)
			résidu (f)	NPK (f)
Jachère	climat	ha	terre	MOST (c)
	sol			NPK (c)
Pâturage	climat	ha	terre	fourrage (c)
	sol			MOST (f)
	type de pacage			NPK (f)
Elevage troupeau	climat	UBT	capital	produit principale
	intensité		main d'oeuvre	MOST (c+f)
	but de production		fourrage (c)	NPK (c+f)
			fourrage (f)	boeuf d'embouche
				boeuf de labour
Elevage embouche	climat	UBT	capital	produit principale
	intensité		main d'oeuvre	MOST (f)

	but production		fouillage (f)	NPK (f)
			boeuf d'embouche (f)	
Achat d'engrais		kg	capital	NPK (c)
Achat de suppléments		kg	capital	fouillage (f)

* (c): au champ

(f): à la ferme

Annexe 1.2. Prix moyen des céréales et l'arachide de 1989 à 1994.

Année	Mil	Sorgho	Mais	Arachide
1989	42,19	43,47	36,97	
1990	64,52	61,13	51,49	
1991	80,88	78,58	66,14	
1992	49,72	43,89	35,87	
1993	52,46	49,39	41,00	101,11
1994	46,21	43,18	36,98	195,56
Moyenne	56,00	53,28	44,74	148,34

Source : OPAM/Système d'information du marché. Données de base de 1989 à 1994.

N.B : Ces chiffres sont des résultats de calcul à partir des données de base.

Annexe 1.3. Prix et amortissement du matériel.

Matériel	Pric d'achat en Fcfa	Durée de vie	Amortissement	Pièces détachées	Coût matériel Fcfa an ⁻¹
Multiculteur Semoir	54.000	8	6.750	1.720	8.470
Charrette	51.225	8	6.405	170	6.575
Char	75.735	10	7.575	640	8.215
Herse	125.000	10	1.250	1.280	13.780
Pulvérisateur	22.500	10	2.250		2.250
Paire de boeufs	9.728	6	1.620	325	1.945
Paire d'ânes	39.000	5	7.800		7.800
	50.000	10	5.000		5.000

Source : I.E.R , Coût de production, 1991

Annexe 1.4. Prix de cession des engrais.

Engrais	Prix kg ⁻¹	Source
Urée	135,30	CMDT/DTDR/1994. Décision de Direction
DAP	208,00	Idem
P Pur	295,00	Résultat de calcul
N Pur	765,00	Idem
K Pur	295,00	Idem

Annexe 1.5

Spécification du modèle de programmation linéaire

Introduction

En principe le texte du modèle est désigné d'être autant auto-explicative que possible. Néanmoins il semble être utile de faire quelques remarques préliminaires qui concernent la forme du texte.

Tout le texte qui vient après une signe d'exclamation (!) est commentaire, et n'influence pas le modèle en tant que tel. Ainsi les premier deux lignes du modèle sont :

```
MODEL koutiala
LET NAPC = 6
```

Les lignes qui commencent par le mot LET définissent des coefficients auxiliaires qui n'entrent pas dans le modèle de PL, mais qui sont utilisés pour faciliter la spécification du modèle. Par exemple, le nombre d'activités culturales, désigné par NAPC est utilisé pour spécifier la dimension de plusieurs vecteurs (p.e. APC, cul_APC) et matrices (p.e. Ifer, ImoC). L'avantage d'une tel définition est que si ce nombre serait changé (pour introduire, par exemple des activités d'une autre culture), il n'est plus nécessaire de spécifier le changement dans les dimension de chaque vecteur et matrice, mais on change seulement le coefficient auxiliaire NAPC.

Les vecteurs et les matrices sont utilisé fréquemment. Ils permettent de définir un grand nombre de variables et de restrictions en une seule ligne. Par exemple, la ligne AC(NAC) définit 352 variables : APC001, APC002, ..., APC352. La ligne qui commence par dv01 définit Nsol (=7) restrictions, une pour chacune des valeurs de l'indice s.

Concernant le nomenclature un effort a été fait pour que les noms des (matrices de) variables et des coefficients techniques s'expliquent d'eux-même autant que possible. A cet effet les abréviations spécifié au commencement ont été utilisé aussi conséquemment que possible. Ainsi, un capital A dans un nom signifie toujours « Activité ». Puis, la plupart des variables et de coefficients techniques sont expliqués à l'aide des commentaires.

Le modèle consiste des parties suivantes :

MODEL donne un nom au modèle ;

VARIABLES définit les variables du modèle ;

TABLES définit les tableaux dans laquelle les coefficients techniques sont stockées ;

DISKDATA partie où les coefficients techniques sont lus et stockés dans les tableaux. Cette partie n'est pas inclu dans le texte ci-dessous ;

CONSTRAINTS décrit les restrictions et les objectifs. Le modèle reconnaît un objectif, si l'expression n'est pas une (in)égalité, mais est suivi par un « \$ ». Par défaut, le modèle choisit le premier objectif comme variable objectif. Pendant l'exécution de l'optimisateur, on peut quand même changer de fonction objectif.

Comme a été expliqué dans le texte, les restrictions d'un nom qui commence par « dv » n'est qu'un équation de définition des variables auxiliaires.

Les restrictions sur les variables objectifs se trouvent à la fin du modèle.

[Annexe 1.6: Le texte du modèle PLBM](#)

2. Le rôle de la modélisation dans la planification des interventions qui visent un développement durable

H. van Keulen

DLO-Institut de Biologie Agronomique et de Fertilité du Sol (AB-DLO)
P.O. Box 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

2.1. Introduction

Selon la définition de la FAO, développement durable peut être décrit comme : « ... la gestion et la conservation des ressources naturelles, et l'orientation des changements technologiques et institutionnels d'une telle façon que les présents et les futurs besoins humains sont satisfaits. Un tel développement durable (dans les secteurs agricole, pêche et foresterie) visent à conserver les ressources terres et eau, les ressources génétiques des plantes et des animaux, est environnementalement non-dégradant, approprié techniquement, fiable économiquement et acceptable socialement ».

Une telle définition tient compte pratiquement de tous les aspects de durabilité, mais est difficile à mettre en pratique, parce qu'elle essaie de combiner plusieurs aspects quantifiés bien diversifiés. Dans cette contribution, je veux me limiter aux aspects techniques, notamment ceux liés à l'agro-écologie et à l'agro-économie.

En ce qui concerne les aspects agro-techniques, un développement durable est fortement associé avec les

systèmes d'utilisation des terres. Il est donc important de faire attention aux processus qui déterminent le choix actuel sur l'utilisation des terres et les possibilités de les influencer. Ce sujet est défini en terme général comme la planification de l'utilisation des terres (FAO, 1992).

La planification de l'utilisation des terres vise à sélectionner la meilleure utilisation des terres. Une telle formulation implique que les objectifs de l'utilisation soient bien définis et acceptés généralement. En réalité il y a des partenaires différents impliqués dans l'utilisation des terres et leurs objectifs ne sont pas nécessairement les mêmes. Il faut donc d'abord faire une analyse pour explorer les possibilités de l'utilisation des terres, et ensuite faire un choix sur la bases des critères explicites.

Les résultats d'une telle analyse doivent donc donner des indications pour des possibilités futures de l'utilisation des terres en vue de leur qualité et en tenant compte des contraintes environnementales et socio-économiques. Il faut indiquer également comment passer de la situation actuelle vers la situation à atteindre, c'est-à-dire comment améliorer les terres et leur utilisation (Fresco *et al.*, 1990)

Dans cette contribution j'essaierai d'indiquer comment les modèles peuvent jouer un rôle dans le processus de planification de l'utilisation des terres en terme général. Au cours de cet atelier, des modèles spécifiques seront traités avec plus de détails.

2.2. Planification de l'utilisation des terres

La planification de l'utilisation des terres n'est pas limitée à l'utilisation agricole, mais inclue, par exemple, aussi l'utilisation pour l'infrastructure de circulation, le tourisme, l'industrie, etc. En plus l'utilisation des terres implique aussi l'utilisation du capital et de la main-d'oeuvre. Cependant, le terme planification régionale agricole serait une définition plus correcte pour ce processus. Néanmoins, on utilise dans cette contribution « planification de l'utilisation des terres », parce que ce terme convient bien dans la discussion.

La planification régionale de l'agriculture et la planification de l'utilisation des terres sont des formes spécifiques de niveau intermédiaire de planification des secteurs et des régions de l'économie nationale. La planification au niveau intermédiaire peut être définie comme la planification des secteurs et des régions, comme liaison entre la planification nationale et la planification des projets spécifiques. La planification nationale (niveau macro) défini en terme général des propositions pour l'expansion d'un secteur, mais ne traite pas des projets d'investissement et de leur distribution spatiale. Pendant la planification des projets on analyse en grand détail les coûts et les revenus, l'organisation et le financement, mais on ne tient pas compte du contexte national. Il y a donc besoin d'un niveau de planification intermédiaire, suffisamment spécifique pour générer des propositions de projets, et suffisamment général pour tenir compte du contexte national.

La planification régionale agricole prend en considération le secteur agricole d'une région spécifique. La justification pour une telle approche est, que dans les pays en voie de développement le secteur agricole est très important, spécialement au niveau régional parce que la plupart de l'emploi et des revenus sont

générés dans ce secteur. Par ailleurs, l'approche régionale donne la possibilité de tenir compte des conditions environnementales et agro-économiques spécifiques en identifiant des projets.

Cette contribution donne un cadre pour des méthodologies de planification régionale agricole en vue des activités de l'équipe EMS (Equipe Modélisation des Systèmes) du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS).

2.2.1. Planification

La planification de l'utilisation des terres, comme tout processus de planification, peut se passer à des niveaux différents : stratégique, tactique et opérationnel.

La planification stratégique vise à déterminer les stratégies et les politiques les plus importantes et de les traduire dans des idées générales qui peuvent guider la conceptualisation et les actions dans le processus de prises de décisions. Stratégie signifie un programme général des actions et de l'utilisation des accentuations et des ressources pour arriver à des objectifs bien explicites. sur la base de la stratégie on arrive à la formulation de directives pour le futur. La planification stratégique donne des directions générales et fournit un cadre pour la planification tactique et opérationnelle. Les stratégies sont les résultats des décisions sur les objectifs généraux, sur les changements dans ces objectifs, sur les ressources disponibles pour réaliser ces objectifs et sur les politiques disponibles pour l'atteindre, l'utilisation et disposition des ressources additionnelles.

Les stratégies principales sont souvent dérivées des conditions externes qui ne peuvent pas être changées. Dans ce cas elles servent comme des conditions limitatives.

La planification tactique peut être défini comme l'exécution du plan stratégique. Elle est basée sur toutes les possibilités agro-techniques et les conditions socio-économiques. Elle tient compte des guides de planifications stratégiques, la disponibilité et les propriétés de toutes les ressources, et les relations entre la gestion des ressources et les produits. Sur cette base on arrive à un plan tactique qui tient compte de toutes les contraintes et contribue maximalelement à tous les objectifs.

La planification opérationnelle peut être défini comme l'exécution du plan tactique et prend des décisions sur l'allocation des ressources différentes aux activités spécifiques sur la base des qualités des ressources, les différentes possibilités techniques et l'environnement socio-économique.

2.2.2. Méthodologie de la planification

Dans le processus de planification on peut distinguer cinq phases :

La phase de conception : Dans cette phase les espérances sur le système utilisé dans la planification sont formulées et quantifiées. Pour analyser et identifier les espérances trois méthodes sont disponibles en principe (van Duivenbooden & Gosseye, 1990) :

- une analyse objective des valeurs et des priorités, si des valeurs quantitatives sont disponibles ou bien peuvent être générées par exemple par des modèles de simulation ;
- des méthodes statistiques : des cours dynamiques, des projections, et analyses de corrélation peuvent être utilisés pour formuler des espérances sur la base des données historiques ;
- jugement subjectif, si des données quantitatives ne sont pas disponibles.

Dans la phase de conception les trois méthodes sont utilisées pour examiner l'environnement, comprendre les constituants importants, et identifier les opportunités et les contraintes. Pour les systèmes agricoles les opportunités et les contraintes peuvent être associées avec les conditions agro-techniques (physiques) ou bien avec les conditions agro-économiques (économique et social). Il faut donc analyser les deux aspects pour se prononcer sur les potentialités et les contraintes (van Diepen *et al.*, 1991). Dans le cas de la planification de l'utilisation des terres il s'agit surtout des conditions environnementales (notamment le climat, rayonnement, température et pluviométrie, et les caractéristiques des sols, (Cissé & Gosseye, 1990) qui déterminent les potentialités de la production végétale et animales (van Duivenbooden & Gosseye, 1990) la disponibilité des moyens de production externes (comme l'eau d'irrigation et des engrais) et leur prix et les prix des produits.

La phase de création : Cette phase est la plus importante dans le processus de prise de décision sur la planification d'utilisation des terres. Pendant cette phase il faut analyser les problèmes, générer des solutions alternatives et tester la faisabilité des solutions.

On peut utiliser des modèles pour intégrer l'information agro-écologique et agro-économique pour arriver à des solutions optimales en vue de la disponibilité des ressources de terres et les politiques de production (*i.e.* les objectifs, comme sécurité alimentaire, revenus monétaires, etc.).

La phase de choix : Dans cette phase le planificateur fait une classification des plans alternatifs et fait le choix pour le plan le plus apte en vue de la disponibilité des ressources et en vue des objectifs.

La phase d'exécution : Dans cette phase les actions nécessaires pour changer l'utilisation des terres sont réalisées. ça veut dire que les politiques identifiées comme utiles pour stimuler les changements désirés, sont exécutées. Identification et formulation de ces politiques ne font pas directement partie du processus de planification régionale, mais sont incluses dans la planification nationale.

La phase d'évaluation : Dans cette phase les effets des politiques et des mesures sur la dynamique de l'utilisation des terres sont examinés et il faut analyser les causes pour un succès plus ou moins.

Il faut réaliser, que les phases indiquées ci-dessus ne sont pas toujours complètement séparées temporellement, mais il y a parfois des recouvrements et des itérations (FAO, 1992 ; Fresco *et al.*, 1990). Par exemple, on peut identifier en première phase les objectifs pour les changements dans l'utilisation des terres, mais pendant les phases suivantes il peut apparaître que ces buts ne sont pas réalistes, donc en ce cas il faut les reformuler et recommencer l'analyse à ce point.

2.2.3. Des techniques de modélisation

Un modèle peut être défini comme une représentation simplifiée d'un système, définissant un système comme une partie cohérente du monde réel. Il y a plusieurs types de modèles : modèles statistiques, modèles dynamiques, modèles d'optimisation, etc., comme illustré dans la suite de cet atelier.

2.2.3.1. Des modèles de simulation pour la croissance des cultures

Pendant les dernières décades l'approche du système analytique dans l'écologie végétale a eu comme résultat le développement des modèles de simulation pour la croissance de plusieurs cultures. dans ces modèles la connaissance des facteurs et des processus qui déterminent la croissance et le rendement des cultures est intégrée d'une telle façon qu'il est possible d'estimer le rendement potentiel des cultures les plus importantes sous des conditions environnementales bien divergentes et variables (Penning de Vries *et al.*, 1989 ; van Diepen *et al.*, 1989 ; 1988 ; de Wit & van Keulen, 1987 ; van Keulen *et al.*, 1987 ; Jones & O'Toole, 1987 ; van Keulen & Wolf, 1986 ; Whisler *et al.* , 1986 ; de Wit *et al.*, 1978). Premièrement des modèles compréhensibles ont été développés, leur but est d'augmenter, d'améliorer la connaissance des interactions entre les facteurs de croissance les plus importants et de tester des hypothèses alternatives. ces modèles ont été utilisés surtout comme des outils de recherche. Sur la base des résultats de tels modèles des versions plus simples ont été développées, des « modèles sommaires » (Penning de Vries, 1982), qui sont utilisés de plus en plus dans le domaine d'application.

Ces modèles sont en général classifiés dans un mode hiérarchique, c'est-à-dire premièrement les effets sont évalués selon des facteurs qui déterminent le niveau potentiel de rendement. ce sont surtout les facteurs climatiques, le rayonnement et la température, et les propriétés physiologiques et physiques des cultures. Le rendement potentiel donc reflète le potentiel génétique des plantes sous des conditions optimales. En effet ces rendements ne sont pas l'objectif dans la plupart des pays en voie de développement, parce qu'il y existent trop de conditions limitatives. Economiquement ce n'est pas rentable d'utiliser des intrants externes visés à éliminer ces contraintes.

Le prochain niveau est le niveau déterminé par des facteurs limitatifs, dont les plus importants sont le manque de l'eau et la carence en éléments nutritifs, notamment l'azote et le phosphore (van der Pol, 1991 ; SOW, 1985). Pour estimer le rendement dans ces conditions il faut tenir compte de la pluviométrie, quantité et distribution et les propriétés physiques et chimiques des sols.

La combinaison de la pluviométrie et des conditions physiques des sols (en combinaison avec les propriétés racinaires des cultures) déterminent la disponibilité de l'eau pour les plantes et donc les périodes de manque d'eau. Les effets des périodes de manque d'eau sur la croissance et le rendement peuvent être quantifiés.

Les caractéristiques chimiques des sols déterminent la disponibilité des éléments nutritifs des sources naturelles des sols (en combinaison avec des sources comme la précipitation). La disponibilité des éléments nutritifs est directement liée aux capacités de production parce que les plantes ont besoin

d'éléments nutritifs pour synthétiser des composantes organiques. Le problème le plus difficile dans ces modèles est la quantification de l'approvisionnement des éléments nutritifs en fonction des caractéristiques des sols et des conditions environnementales. Un système opérationnel pour estimer ces quantités et de les traduire aux rendements des cultures est QUEFTS (Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils, Janssen *et al.*, 1990).

Les modèles au niveau prochain traitent les effets des facteurs réducteurs, comme les mauvaises herbes, les pestes et les autres maladies. ces modèles sont moins développés que ceux des trois autres niveaux, et en plus le nombre des organismes impliqués est tellement élevé que c'est quasi impossible de déterminer les caractéristiques pertinentes pour toutes les situations.

En général la conclusion en ce moment doit être : les modèles décrivant la production potentielle sont assez exacts pour fournir une estimation raisonnable des rendements sur des conditions différentes. Le problème le plus important pour ces modèles est la disponibilité des données (notamment sur la phénologie et la distribution de matière sèche entre les différents organes de la culture) des différentes variétés des cultures. En plus c'est en général difficile de trouver des données pour l'évaluation et la validation de ces modèles.

Les modèles décrivant la production en fonction de la disponibilité de l'eau sont pratiquement au même niveau d'exactitude comme ceux de la production potentielle, cependant les données sur les systèmes racinaires sont mêmes plus rares, comme les données détaillées des propriétés physiques des sols (Burroughs, 1989). Donc, leur applicabilité dans des conditions actuelles rencontre souvent des grands problèmes (van Diepen *et al.*, 1988).

Pour la situation actuelle, dans la plupart des pays en voie de développement, et certainement dans les conditions sahéniennes, la croissance des cultures et aussi celle de la végétation naturelles, les pâturages) est limitée par des facteurs différents pendant différentes périodes du cycle croissance. ça veut dire qu'en effet c'est quasi impossible d'utiliser des modèles de simulation dynamique pour quantifier les rendements sous ces conditions. Donc, pour caractériser ces systèmes on a besoin des données des sondages au terrain.

2.2.3.2. Des modèles de programmation linéaire à buts multiples

Comme expliqué dans l'introduction, des acteurs différents impliqués dans le processus de planification de l'utilisation des terres ont des objectifs différents, et pour arriver à une solution acceptable pour tous ces acteurs c'est nécessaire d'analyser tous ces objectifs et d'examiner s'il est possible de les réaliser au même moment, ou dans quel degré ils sont conflictuels. Un outil pour une telle analyse est la programmation linéaire à buts multiples (PLBM, de Wit *et al.*, 1988 ; van Keulen, 1990 ; [Veeneklaas, 1990](#)).

Pour appliquer un tel outil on a besoin d'un tableau d'intrants/extrants que définissent en termes quantitatifs toutes les techniques de production qu'on pourrait pratiquer dans la région, vue les qualités

des ressources naturelles (notamment le climat et les sols). ces techniques doivent inclure les techniques pratiquées actuellement dans la région, des techniques alternatives, pratiquée actuellement dans des régions aux conditions comparables, et des techniques qui ne sont pas pratiquées actuellement mais au cours de développement. Toutes ces techniques sont caractérisées par leurs « coefficients techniques », c'est-à-dire leurs extrants et leurs intrants en termes quantitatifs, mais aussi leurs contributions aux objectifs de tous les acteurs impliqués dans le processus de développement.

On a également besoin d'une série d'objectifs définis par les acteurs dans le processus de développement. De ces objectifs on peut dériver des documents politiques, ou bien définir dans des contacts avec les acteurs (les décideurs politiques au niveau national, les autorités régionales et/ou locales, les producteurs, les bailleurs de fonds, etc.) ou bien créer par un processus créatif des analyses.

Finalement on a besoin d'une méthode d'optimisation à multiples critères, qui sont disponibles pour des ordinateurs différents.

En principe c'est une méthodologie pour optimiser des buts différents en des cycles itératifs. dans la première itération tous les objectifs sont optimisés séparément sans imposition des limitations sur les autres objectifs. Les résultats d'une telle analyse sont les valeurs les plus favorables qu'on pourrait réaliser pour chacun des objectifs et en même temps la valeur la plus défavorable qu'on devrait acceptée. Cela veut dire que cette première itération donne l'espace faisable, ou bien « le monde dans lequel on se trouve ». Dans des itérations suivantes on peut définir des valeurs de plus en plus limitatives sur l'un ou l'autre objectifs et répéter les optimisations pour les autres buts. En général, le résultat serait que l'espace faisable diminue graduellement, jusqu'à ce qu'on arrive à une situation où il ne sera plus possible d'améliorer la réalisation d'un des buts sans sacrifier sur un des autres.

Dans cette situation on peut exprimer le degré de la réalisation d'un but en termes des sacrifices sur les autres, ou bien on peut définir les coûts d'opportunités d'un but dans les autres. dans la méthode de PLBM on exprime tous les objectifs dans des termes physiques, et donc les buts sont exprimés dans leurs propres unités.

La méthode de PLBM ne tient pas compte des contraintes liées au comportement des acteurs, ni des contraintes institutionnelles, dans le processus de développement et donc le résultat défini les possibilités techniques du développement. Typiquement ces analyses sont d'un niveau exploratoire ([Veeneklaas et al ., 1990](#)), et aboutissent à une définition de la frontière limitative des options de développement.

Un modèle de programmation linéaire à buts multiples, comme développé dans le cadre du projet PSS sera présenté plus tard dans l'atelier (EMS, 1994).

2.2.3.3. Les modèles des ménages paysans

Un des problèmes rencontrés pendant l'analyse régionale de l'utilisation des terres sur la base des

données définies au niveau des parcelles individuelles, comme générées par des modèles de simulation, en utilisant des modèles PLBM, c'est qu'on analyse les options à long terme, tandis qu'on ne tient pas compte des actions des vrais décideurs sur l'utilisation des terres, les paysans. Pour analyser les possibilités et les contraintes institutionnelles et instrumentales, qui peuvent aboutir à un aperçu des réponses des ménages aux conditions existantes et aux mesures politiques, on utilise des modèles de ménages paysans (Kruseman *et al.* , 1994a ; 1994b). Un tel modèle de ferme est également basé sur la programmation linéaire, et à comme résultat une structure de production optimale, vues les ressources disponibles, les technologies de production disponibles, caractérisées par leurs coefficients techniques, les mesures politiques (prix, marché) et les buts différents de ménage. Parmi les derniers on peut distinguer les revenus (consommation), gestion de risque (sécurité alimentaire), et la reproduction de ressources du terroir (en vue de sécurité alimentaire à long terme).

Typiquement les résultats d'un tel modèle sont exprimés en termes d'élasticités des réponses paysans. Ils peuvent aider les décideurs politiques ou les planificateurs dans l'analyse des effets des politiques, de réfléchir sur les changements dans des conditions socio-économiques, sur le déroulement de l'utilisation des terres. Donc une telle analyse on introduit la dynamique de développement, comme influencée par les objectifs et le comportement des paysans, dans la planification de l'utilisation des terres (Kruseman *et al.*, 1994c).

2.4. Conclusions

La planification de l'utilisation des terres, en vue d'un développement durable, est un processus extrêmement complexe. Il s'agit d'une combinaison des connaissances sur des aspects techniques (évaluation des terres), biophysiques (croissance des plantes et des animaux), économiques (prix des intrants et des produits), sociologiques (comportement des producteurs) et politiques (objectifs des différents acteurs impliqués dans le processus). En général il faut tenir compte de la situation actuelle en ce qui concerne l'utilisation des terres, parce que des terroirs 'vides' n'existent plus. Récemment, la condition de durabilité a pris un rôle important, vu le fait que la croissance démographique et la gestion injustifiée des ressources naturelles risquent d'arriver à une situation où le bien-être, ou même la survie d'une partie de la population mondiale est en danger.

Pour une planification rationnelle, c'est donc nécessaire d'analyser toutes les possibilités et de prévoir si possible, les besoins à long terme. Une telle analyse demande une intégration de toutes les connaissances, ce qui est quasi impossible sans l'utilisation des outils modernes qui vise à combiner ces connaissances dans des modèles mathématiques.

Dans cette contribution trois types de modèles utiles dans le processus de planification de l'utilisation des terres durables ont été brièvement introduits et leur rôle éventuel discuté. Dans la suite de l'atelier ils seraient traités en détail et leurs résultats étalonnés.

Le défi le plus grand dans ce domaine en ce moment, et un des buts de cet atelier, est de réaliser une vraie intégration entre les différents types de modèles pour mieux planifier des interventions visant à

stimuler un développement durable.

2.5. Références

- Burrough, P.A., 1989. Matching spatial databases and quantitative models in land resource assessment. *Soil Use and Management* 5, 3-8.
- Cissé, S. & P.A. Gosseye (Eds.), 1990. Compétition pour des ressources limitées: Le cas de la cinquième Région du Mali. Rapport 1: Ressources naturelles et populations. Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO), Wageningen, Pays-Bas/Etude sur les Systèmes de Production Rurales (ESPR), Mopti, 106 pp.
- Diepen, C.A. van, C. Rappoldt, J. Wolf & H. van Keulen 1988. CWFS crop growth simulation model WOFOST. Documentation Version 4.1, CWFS, P.O.Box 14, Wageningen, The Netherlands.
- Diepen, C.A. van, J. Wolf, H. van Keulen & C. Rappoldt, 1989. WOFOST, a simulation model of crop production. *Soil Use and Management* 5, 16-24.
- Diepen, C.A. van, H. van Keulen, J. Wolf & J.A.A. Berkhout, 1991. Land evaluation: from intuition to quantification. *Adv. in Soil Sci.* 15, 139-204.
- Duivenbooden, N. van & P.A. Gosseye (Eds.), 1990. Compétition pour des ressources limitées: Le cas de la cinquième Région du Mali. Rapport 2: Productions végétales, animales et halieutiques. Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO), Wageningen, Pays-Bas/Etude sur les Systèmes de Production Rurales (ESPR), Mopti, Mali, 206 pp.
- EMS, 1994. Modélisation et politique de développement agricole durable, cas de Cercle de Koutiala. Exposé présenté au Atelier EMS, Projet PSS, Niono, 18-20 Septembre 1994.
- FAO, 1992. Guidelines for land use planning. FAO, Rome, 140 pp.
- Fresco, L., H. Huizing, H. van Keulen, H. Luning & R. Schipper, 1990. Land evaluation and farming systems analysis for land use planning. FAO Guidelines: Working document, 176 pp. + appendices.
- Janssen, B.H., F.C.T. Guiking, D. van der Eijk, E.A.M. Smaling, J. Wolf & H. van Reuler, 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma* 46, 299-318.
- Jones, C.A. & J.C. O'Toole, 1987. Application of crop production models in agro-ecological characterization. In: A.H. Bunting, Ed. *Agricultural Environments*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 199-209.

- Keulen, H. van, 1990. A multiple goal programming basis for analysing agricultural research and développement. In: (Rabbinge, R., J. Goudriaan, H. van Keulen, F.W.T. Penning de Vries and H.H. van Laar, Eds.) Theoretical production ecology: reflections and prospects, Simulation Monographs 34, Pudoc, Wageningen, pp. 265-276.
- Keulen, H. van & J. Wolf, 1986. Modelling of Agricultural Production: Weather, Soils and Crops. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, 479 pp.
- Keulen, H. van, J.A.A. Berkhout, C.A. van Diepen, H.D.J. van Heemst, B.H. Jansen, C. Rappoldt & J. Wolf, 1987. Quantitative land evaluation for agro-ecological characterization. In: A.H. Bunting, Ed. Agricultural Environments. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 185-197.
- Kruseman, G., R. Ruben & H. Hengsdijk, 1994a. Agrarian structure and land use in the Atlantic Zone of Costa Rica. DLV Report no. 3, P.O.Box 14, 6700 AA Wageningen, 106 pp.
- Kruseman, G., R. Ruben, H. Hengsdijk & M. van Ittersum, 1994b. Farm household modelling for policy scenarios on sustainable land use. Neth, J, agric. Sci. (sous presse)
- Kruseman, G., R. Ruben & H. Hengsdijk, 1994c Modélisation de ménages paysans pour estimer l'efficacité des instruments de prix et de marché pour occasionner l'utilisation durable du terroir. Exposé présenté à l'Atelier EMS, Projet PSS, Niono, 18-20 Septembre 1994.
- Penning de Vries, F.W.T., 1982. Phases of development of models. In: F.W.T. Penning de Vries and H. H. van Laar, Eds. Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. p. 20-25.
- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge & A. Bakema, 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth of several annual crops. Simulation Monograph 29, Pudoc, Wageningen, 271 pp.
- Pol, F. van der, 1991. Soil mining: an unseen contributor to farm income in southern Mali. Bull. 325. Roy. Trop. Institute, Amsterdam, 47 pp.
- SOW, 1985. Potential food production increases from fertilizer aid: A case study of Burkina Faso, Ghana and Kenya. Vols. I and II. CFWS, P.O.Box 14, Wageningen The Netherlands.
- Veeneklaas, F.R., 1990. [Competition pour des ressources limitées: Le cas de la cinquième Région du Mali. Rapport 3: Description formelle du modèle d'optimisation Mali5](#). Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO), Wageningen, Pays-Bas/Etude sur les Systemes de Production Rurales (ESPR), Mopti, Mali, 64 pp.

Veeneklaas, F.R., S. Cissé, P.A. Gosseye, N. van Duivenbooden & H. van Keulen, 1990. [Compétition pour des ressources limitées: Le cas de la cinquième Région du Mali. Rapport 4: Scénarios de développement](#). Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO), Wageningen, Pays-Bas/Etude sur les Systèmes de Production Rurales (ESPR), Mopti, 182 pp.

Whisler, F.D., B. Acock, D.N. Baker, R.E. Fye, H.F. Hodges, J.R. Lambert, H.E. McKinion & V.R. Reddy, 1986. Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.* 40, 141-208.

Wit, C.T. de and H. van Keulen, 1987. Modelling production of field crops and its requirements. *Geoderma* 40, 253-265.

Wit, C.T. de, H. van Keulen, N.G. Seligman & I. Spharim, 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of régional agricultural développement. *Agric. Syst.* 26, 211-230.

Wit, C.T. de et al., 1978. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. *Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen, 141 pp.

[Chapitre 3, 4, 5 et 6](#)

Rapports PSS N°10 (Chapitre 3, 4, 5 et 6)

Modélisation et politique de développement : perspectives d'un développement agricole durable « Cas du Cercle de Koutiala »

Atelier Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) / projet PSS
à Niono du 18 au 20 Septembre 1994

Equipe Modélisation des Systèmes (EMS)

[Table des matières,](#)
[Chapitre 1 et 2](#)

3. CMDT et Comité Locale de Développement de Koutiala : Aperçu du bilan et des perspectives des interventions pour résoudre les problèmes de développement au niveau du Cercle de Koutiala (1975 - 2000).

Abdoul Kader SISSOKO

CLD-Koutiala

3.1. Introduction

Le cercle de Koutiala avec une économie essentiellement rurale a une vocation particulièrement agricole et pastorale avec une production forestière appréciable.

L'évolution des systèmes de production dans le cercle de Koutiala dans le temps et dans l'espace, nous enseigne qu'il y a quarante ans au moins, les populations ne ressentaient pas de problèmes majeures de dégradation des ressources naturelles. Ceci s'explique par le fait que les systèmes de production étaient dominés par la culture manuelle itinérante avec une population et un cheptel assez réduits.

La production agricole en zone CMDT de (Koutiala qui couvre tout le cercle de Koutiala et d'autres comme Yorosso et une partie de Bla) intègre non seulement le coton comme principale culture de rente, mais aussi toutes les autres cultures qui entrent dans le système d'assolement rotation de celui-ci.

Le cercle de Koutiala dans sa politique de développement rural intégré, tout en tenant compte du maintien du potentiel productif a fait d'importantes réalisations. Elles sont résumées dans les pages qui suivent en terme de bilan et perspectives des actions menées pour résoudre les problèmes du développement au niveau du cercle de Koutiala de 1975 à l'an 2000.

3.2. Bilan et perspectives

L'introduction de la culture de rente (le coton) par la CFDT en 1952 avant de passer le flambeau à la CMDT à partir des années 1974, fait naître de nouveaux besoins qui ont conduit à un renversement de situation à savoir :

- le perfectionnement de l'agriculture à travers la culture attelée et la motorisation intermédiaire dont la conséquence fut l'augmentation effrénée des superficies à défricher ;
- le besoin de plus en plus élevé d'acquisition d'animaux par les agriculteurs transformés finalement en agro-pasteurs (animaux de trait, animaux pour l'épargne et le prestige) ;
- l'accroissement des besoins monétaires de la population rurale pour faire face à certaines contraintes (paiement d'impôts, de produits manufacturés, etc.) ;
- la rupture de l'équilibre écologique (extension effrénée des superficies cultivées, diminution de la fertilité des sols, dégradation des ressources ligneuses et herbacées, coupe abusive des bois, etc.).

Devant le danger de rupture de l'équilibre écologique et les nécessités d'augmentation de la production agro-sylvo-pastorale et la productivité, le comité local de développement de Koutiala, a tenté de réconcilier les deux aspects en s'engageant dans un vaste programme de maintien du potentiel productif.

3.2.1. Dans le domaine de l'agriculture

Nous sommes passés d'un rendement de 952 kg ha⁻¹ pour une superficie d'environ 22.000 ha en 1974, pour atteindre dans les 83, 1.300 kg ha⁻¹ (Tableaux 3.1 à 3.3).

Cet accroissement de la productivité a été favorisé par les résultats de la recherche et mis à profit par les vulgarisateurs. Ils ont concerné tous les domaines de la production agricole, aspects variétaux, fertilisation, techniques culturales, entretiens culturaux, protection phytosanitaire, etc.

Parallèlement, les superficies céréalières ont aussi augmenté, passant de 10.420 ha en 1987, pour un rendement de 1361 kg ha⁻¹ à 15.327 kg ha⁻¹ pour 1868 kg ha⁻¹ en 1988 pour le maïs. Tandis que pour les mil/sorgho, depuis 1987, nous avons rarement dépassé le plafond de 1100 kg ha⁻¹ et les superficies sont passées de 63.916 ha en 1986 à 85.325 ha en 1993 (Tableaux 3.4 et 3.5).

Cette augmentation sans cesse croissante des superficies a entraîné une dégradation et un appauvrissement du patrimoine sol, entraînant ainsi une stagnation voire une baisse des rendements en général et du coton en particulier. Et depuis plus de 10 ans les rendements oscillent autour de 1.200 kg ha⁻¹. Ceci, à cause du fait que cette politique d'extension des superficies n'était pas accompagné d'une

stratégie de maintien du potentiel productif jusqu'en 1985.

Tableau 3.1. Evolution technique de la culture coton sur 10 ans de 1974 à 1983.

Années	Superficies	Rendement	Observations
1974	20.253*	952	* moins les superficies du secteur de Molobala
1975	23.976*	1.250	
1976	30.362*	1.260	
1977	33.375*	1.169	
1978	36.070*	1.095	
1979	36.951	1.282	
1980	32.051	1.149	
1981	28.115	1.318	
1982	36.625	1.310	
1983	36.835	1.368	

Tableau 3.2. Evolution technique de la culture coton sur 10 ans (de 1984 à 1993).

Années	Superficies	Rendement	PRODUCTION (t)
1984	36.385	1.154	41.988
1985	41.510	1.146	47.570
1986	40.695	1.311	53.351
1987	35.982	1.260	45.337
1988	44.321	1.337	59.257
1989	40.525	1.153	46.725
1990	44.010	1.386	60.997
1991	43.778	1.266	55.422
1992	50.987	1.344	68.521
1993	40.346	1.251	50.472

Tableau 3.3. Evolution de la production cotonnière de 1995 à 2001.

Années	Superficies	Rendement	Production
1995/96	53.245	1319	70.230
1996/97	54.000	1333	71.982
1997/98	56.700	1343	76.148
1998/99	58.150	1356	78.851
1999/2000	59.500	1370	81.515
2000/2001	61.200	1385	84.762

Tableau 3.4. Evolution des superficies maïs et des rendements.

Années	Superficies	Rendement
1987	10.420	1361
1988	11.432	2019
1989	12.917	1954
1990	13.045	1912
1991	12.660	1499
1992	14.385	1863
1993	15.327	1868

Tableau 3.5. Evolution des superficies et des rendements mil/sorgho.

Années	Superficies	Rendement
1986	63.916	-
1987	-	968
1988	69.017	1178
1989	77.447	1188
1990	78.833	1186
1991	79.752	1051
1992	85.214	1108
1993	85.325	1174

Cette situation nous amène à poser le problème de l'inadéquation entre la capacité de travail des exploitations et les superficies, d'où le problème sérieux de non maîtrise des superficies sur le plan agronomique. C'est pourquoi, si l'utilisation de la fumure organique a été bien perçue par les agriculteurs, les problèmes liés à sa production constituent un frein à son utilisation de façon quantitative et ceci par rapport aux superficies emblavées. (16.677 ha de coton ont reçus de la fumure organique sur les 40.346 ha. et reste la seule culture qui reçoit la presque totalité du fumier).

Quant aux engrais minéraux, ils ne sont surtout utilisés que sur le cotonnier bien que les doses recommandées par la recherche ne sont pas atteintes dans tous les cas. Le facteur économique limite leur utilisation sur les céréales dont la commercialisation pose d'énormes difficultés aux producteurs (faute de débouché sûr).

Pour ce qui est du PNT, une ressource naturelle, malgré les efforts louables consentis par la recherche et la CMDT (subvention, bonification des terres) son utilisation ne fait que baisser d'année en année. En 1993, 136 ha seulement ont reçu du PNT sur 40346 ha soit moins de 1 % des superficies cotonnières.

3.2.2. Dans le domaine de l'élevage

Avant les années 1970, l'alimentation du bétail ne constituait pas un souci majeur pour l'éleveur qui avait à sa disposition d'importantes ressources naturelles. A cette période, on rencontrait au niveau des plateaux et des plaines non inondables des espèces fourragères comme l'*Andropogon gayanus*, *Rotbelia exaltatos*, *Symbopogon gygenteus* et au niveau des pâturages inondables, des espèces de bourgou. La nature restait verdoyante presque toute l'année.

Depuis la recherche endémique de 1973, on assiste à une dégradation poussée de cette potentialité pastorale. A cela, il faut ajouter l'accroissement rapide du cheptel du cercle de 1974 à 1993 où les têtes sont passées de :

- 32.570 à 265.825 bovins ;
- 5.262 à 142.200 ovins/caprins ;
- 283 à 330 équins ;
- 5.490 à 14.977 asins

et les effets de la transhumance des animaux des zones déficitaires.

Ce déséquilibre fait qu'aujourd'hui, les zones de pâturage sont les jachères et la brousse en disparition, occasionnant des transhumances prolongées des animaux du cercle vers les pays voisins (Côte d'Ivoire, Burkina-Faso).

Les espèces fourragères de bonne qualité qui faisaient la fierté des éleveurs du cercle ont disparu pour laisser place à des aliments grossiers moins nutritifs tels que le « ngasan et le N'Golo».

Face à cette situation le service de l'élevage et la CMDT ont entrepris des actions visant à :

- une meilleure intégration agriculture - élevage pour une exploitation rationnelle des ressources naturelles ;
- une diminution progressive de la pression des animaux sur l'écosystème par une exploitation rationnelle des productions animales ;
- la dynamisation de la filière de commercialisation du bétail ;
- au maintien de la productivité du sol par la production d'une fumure organique en quantité et de qualité dans les parcs améliorés, étables fumières, fosses fumières et compostière (Tableau 3.6) ;
- la gestion rationnelle du troupeau (embouche bovine et ovine, Tableau 3.7) ;
- la promotion de l'aviculture en milieu rural ;
- la gestion des parcours et pâturages.

La mise en oeuvre de ces objectifs a abouti à :

- un démarrage de l'intensification des cultures fourragères ;
- la construction de parcs améliorés, étables fumières, fosses fumières et compostières en vue de la production de la fumure organique ;
- au creusement de puits et surcreusement de mares, installation de pompes solaires, construction de petits barrages et de retenues d'eau ;
- la construction de comité d'accueil au niveau de chaque village pour atténuer les nombreux problèmes entre éleveurs et agriculteurs ;

- la mise en route d'une politique timide de destockage du cheptel ;
- un suivi sanitaire régulier et rapproché qui a contribué à circonscrire et à éradiquer certaines maladies animales (peste, péripneumonie, trypanosomiase, etc.). Les maladies persistantes actuellement sont les trypanosomiasés et la péripneumonie ;
- la délimitation de certaines zones de pâturage (3000 ha de pâturage à Koloni) et des pistes de parcours (piste de Kaola débouchant sur le cercle de Sikasso) ;
- les perspectives d'avenir consistent au maintien du capital productif (boeuf de labour) ;
- à la protection de l'écosystème par une meilleure gestion du troupeau des pâturages et parcours ;
- à la rentabilisation des productions animales par l'organisation adéquate d'une filière de commercialisation et une alimentation adaptée aux différents types de production (lait, viande, oeuf) ;
- à la formation de relais villageois pour un transfert de compétences ;
- au désengagement du service élevage dans la santé animale au profit du privé (jeunes diplômés régulièrement installés et inscrits à l'ordre des vétérinaires) pour se consacrer pleinement à la production animale et à la gestion des pâturages qui avaient été laissées pour compte.

Tableau 3.6. Production fumure organique 1993/94.

	Parc amélioré		Nombre de		E.F.
	Nombre expl.	Nombre P.A.	F.F	Compostière	
ZEBALA	523	537	1449	1890	1
MOLOBALA	1037	903	276	2467	3
M'PESSOBA	456	456	760	382	5
KOUTIALA	1919	1221	321	2452	-
TOTAL REGION	5972	4449	4919	9050	116

Tableau 3.7. Production de beliers tabaski selon les campagnes.

Secteurs	Campagne	Nombre de producteurs	Nombre de beliers
MOLOBALA	91/92	41	42
	92/93	20	40
ZEBALA	91/92	43	44
	92/93	40	40
KOUTIALA	91/92	66	66
	92/93	20	22
	93/94	20	22
M'PESSOBA	93/94	20	22

Total Cercle

-

270

298

3.2.3. Dans le domaine de la foresterie

La sécheresse qui s'est abattue sur notre pays depuis les années 1970, la démographie galopante de la population du cercle de Koutiala et les effets induit du développement des cultures de rente ont fortement influencé la protection de l'environnement. Face à cette inquiétude le service des Eaux et Forêts ont entrepris de nombreuses actions entre autres la production des plants, le reboisement, l'aménagement des forêts classées, la vulgarisation de pisciculture et de l'agriculture moderne.

La production de plants

Depuis 1986, la tendance est le désengagement progressif du service forestier pour laisser place aux privés. De 1986 à nos jours (1994), plus d'une trentaine de producteurs privés produisent plus de 100.000 plants tous les ans.

La pépinière du cercle gérée par le comité local de développement est aussi en voie de privatisation.

La production des plants toutes espèces confondues du cercle de Koutiala pour l'année 1994 est de 137.800 plants.

Le reboisement

A cause de l'insuffisance du bois de service dans les terroirs villageois, l'*Eucalyptus* tient la première place comme espèce plantée tous les ans ont 90 % d'*Eucalyptus*. Les plantations privées sont également les plus importantes en nombre. Les besoins exprimés en 1994 s'élèvent à 107,9 ha.

L'exploitation des forêts

La couverture végétale du cercle jugé déjà insuffisante à cause de la forte pression démographique et des systèmes de production est fortement entamé après les événements de 1991. C'est ainsi que les populations ne sont livrées à des défrichement sans autorisation, à des exploitations incontrôlées en épargnant ni le karité ni le néré. L'exploitation du charbon a vu naître une autre catégorie d'exploitants qui ne cherchent qu'à s'enrichir sans trop se soucier de la protection de l'environnement.

Le nouveau contexte socio-politique rend difficile le contrôle par les agents forestiers. Pour limiter les actions dévastatrices, on assiste à une organisation progressive des villageois pour protéger leurs terroirs. Ainsi après la zone Siwaa, 11 autres villages se sont organisés pour protéger leur terroir commun « U Sigignon » (protégeons notre terroir en Minianka). En plus de ces cas, certains villages s'organisent individuellement à interdire l'exploitation du charbon dans leur terroir.

L'aménagement des forêts classées

Sur les trois Forêts classées existantes dans le cercle de Koutiala (Koba, M'Pèssoba et Zangasso), le plan d'aménagement de deux sont en cours d'élaboration (Koba et M'Pèssoba).

La vulgarisation de la pisciculture et de l'agriculture

La politique de la pisciculture est en train de se développer au niveau des populations qui y trouvent un intérêt grandissant. Ainsi au niveau de M'Pèssoba 5 étangs ont été aménagés dont 4 déjà empoisonnés en 1994.

L'apiculture, traditionnellement pratiquée depuis des temps immémoriaux se modernise depuis quelques années avec l'introduction de ruches Kenyanes avec des équipements de récolte. Durant la campagne 1993/94 plus de 100 ruches ont été installées.

Les projections d'ici l'an 2000 sont axées essentiellement sur 7 :

- l'aménagement effectif des trois forêts classées avec la participation des populations ;
- la sensibilisation des populations pour les amener à mieux gérer leur terroir (au moins le tiers des villages à être maître de leur terroir) ;
- le développement de la pisciculture et de l'agriculture moderne dans tout le cercle ;
- le désengagement effectif du service forestier dans la production des plants et le reboisement au profit de la population. Ainsi le service forestier ne s'occupera que l'appui conseil et de la coordination des actions.

3.2.4. Dans le domaine du maintien du potentiel productif

Jusqu'en 1980, apparemment il n'y avait pas de problème majeure en matière de dégradation des ressources naturelles. Les rendements à l'ha ne faisaient qu'augmenter suite à la performance des techniques mises à la disposition des paysans. C'est à partir de 1980 que les paysans ont commencé à sentir les problèmes de dégradation, voire une baisse du rendement à l'ha et le surpâturage dans les différents terroirs villageois du cercle de Koutiala.

Pour faire face à cet état de fait, la CMDT a fait appel au DRSPR de Sikasso (Département de Recherche pour les Systèmes de Production Rurale) pour des recherches sur les techniques anti-érosives et de conservation des sols et des eaux maîtrisables et transférables aux paysans (1980-1985).

A partir de 1986, suite aux résultats obtenus par le DRSPR en la matière, un programme de l.a.e. et de conservation des sols fut mis sur pieds, programme qui a évolué vers la gestion des ressources naturelles à partir de 1989. Un schéma type d'aménagement du terroir selon les topo-séquences d'un terroir villageois sert de base pour ce programme (Tableaux 3.8 et 3.9 ; Fig. 3.1 et 3.2).

L'échelle d'intervention est le terroir villageois et l'approche utilisée est l'approche-village où des actions collectives et individuelles sont prévues. Elle consiste en une adhésion populaire au programme d'aménagement de terroir et en dissémination des connaissances de façon homogène.

Dans chaque village retenu pour le programme au moins une équipe technique lutte anti-érosive est créée pour servir de relais entre les paysans et les structures d'encadrement. Elle s'occupe de la formation des villageois et du suivi évaluation des actions menées en matière de l.a.e. et conservation des sols

(auto-évaluation paysanne).

Tableau 3.8. Situation des villages encadrés en L.A.E. et aménagement des terroirs dans le cercle de Koutiala.

		Nombre de villages L.A.E. par campagne								
Secteurs CMDT du cercle Koutiala	Nombre de vil. adm. et non adm.	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	moy./an
Koutiala	118	-	1	3	10	17	23	31	33	4,1
M'Pèssoba	81	1	2	4	10	24	29	35	35	4,4
Molobala	48	4	5	7	14	20	27	27	28	3,5
Zébala	58	-	2	4	15	21	28	29	32	4,0
Total	305	5	10	18	49	82	107	122	128	16

* Si le rythme moyen d'augmentation du nombre de villages l.a.e. est maintenu à 16 villages par an au niveau de Koutiala, en l'an 2.000, le nombre de villages à encadrer en l.a.e. sera porté à 224 villages (soit 96 nouveaux villages).

* Pour que tous les villages du cercle soient encadrés en l.a.e. d'ici l'an 2000, il faut en moyenne prendre par an 30 nouveaux villages (soit 8 nouveaux villages l.a.e. par an et par secteur).

[Figure 3.1.](#) Schéma directeur d'aménagement anti-érosif d'un sous-terroir.

[Figure 3.2.](#) L'ordre dans l'exécution des travaux anti-érosifs au niveau village.

Tableau 3.9. Quelques réalisations physiques le L.A.E. de 1986 à 1993.

Désignation	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	Total	Moyenne/ Village/ an	Total en l'an 2000

Lignes en cailloux (m)										
Haies vives (m)		11	23	46	95	89				
Barrières en cailloux (nbre)	2 765	005	4 788	863	905	740	385	274 451	698	859936
Fascines (nbre)	6 934	31	94	184	176	336	334	1174261	2 692	3146948
Parcs améliorés (nbre)	-	516	158	044	720	365	524	3 928	13	16 016
Fosses fumières (nbre)	-	249	90	735	390	738	1 726			
Foyers améliorés (nbre)	-	184	234	833	686	910	7 944	10 791	62	76 384
Reboisement (nbre plants)	-	221	126	637	3 343	897	1 645	6 869	13	16 016
	-	-	558	2 499	604	1 456	1 767	6 884	14	17 248
	1 101	-	1 890	6 909	889	3 570	4 365	23 115	34	41 888
	10	4 591	37	49	52	115	114	395 989	896	1 103
	173	172	206	147	164	384	633			872

Remarque: Ces chiffres ne prennent pas en compte les réalisations des villages non lutte anti-érosive.

La stratégie adoptée en matière de maintien du potentiel productif (MPP) se résume en la conduite des activités de production rurale s'insérant dans une démarche méthodologique de gestion des ressources naturelles visant le maintien du capital productif et la protection de l'écosystème.

Cette démarche est évolutive, débutant par un diagnostic léger des potentialités et des contraintes du milieu naturel, se poursuivant par l'introduction de techniques simples de l.a.e. et d'aménagement de sous-terroirs.

Elle peut s'élargir à un diagnostic plus complet prenant en charge l'ensemble des problèmes d'aménagement et de gestion des ressources naturelles au niveau du terroir villageois, et se traduisant par l'élaboration d'un plan pluriannuel d'aménagement du terroir décidé par les populations.

Au niveau de cette stratégie, les mesures de gestion des ressources naturelles (GNR) adaptées aux réalités écologiques et sociales sont de 3 ordres :

- mesures d'aménagement et de gestion des terres de culture ;
- mesures d'intégration agriculture-élevage ;
- mesures d'aménagement et de gestion de la zone sylvo-pastorale.

Ces mesures sont d'ordre technique et socio-organisationnelle.

Les mesures techniques sont de types mécaniques et biologiques.

Cette stratégie est sous-tendue par une démarche d'animation villageoise devant aboutir à la formation, participation et responsabilisation des villageois aux chantiers de l.a.e. et GRN dans un contexte de maintien du potentiel productif.

A partir de 1990, le programme National de Lutte Contre la Désertification (PNLCD) est venu renforcer les actions déjà menées dans le cercle de Koutiala à travers un projet zone test de GRN.

Des Comités de gestion ont été alors installés dans 6 villages retenus dans ce programme. Ici l'accent est surtout mis sur l'élaboration du schéma d'aménagement du terroir de chacun des 6 villages, schémas qui constitueront la carte de visite de ces villages en vue de leur développement rural intégré. Des actions d'encrage ont été retenues afin de maintenir le souffle des villageois pour la réalisation de ces schémas d'aménagement.

Des cadres de concertation à différents niveaux autour des programmes de GRN sont mis en place en vue d'une harmonisation des approches et une méthode d'intervention vers le paysannat (siwaa, PNLCD, rencontres trimestrielles autour des thèmes jugés d'actualité et importantes, etc.).

Dans l'exécution de ce programme de maintien du potentiel productif, les contraintes actuelles qui entravent l'exécution des actions programmées sont les suivantes :

- forte tension sociale conduisant à l'éclatement des A.V. (Associations villageoises) : difficulté d'exécution des actions collectives ;
- système de suivi-évaluation ne prenant pas suffisamment en compte l'aspect qualitatif des réalisations physiques ;
- faible niveau de maîtrise des relais villageois et des responsables villageois en matière d'organisation et de planification des actions aussi bien sur un plan annuel que pluriannuel ;
- faible niveau d'appréciation des paysans en la nécessité de passer de la lutte anti-érosive à la gestion des ressources naturelles et d'élaborer par conséquent un schéma d'aménagement par terroir dont l'exécution doit être pluriannuelle ;
- manque de formation de certains agents du C L D en matière de GRN alors qu'ils sont chargés d'exécuter ce programme ;
- la vitesse de réalisation des actions en deçà des prévisions et des capacités des villageois ;
- manque de cadre juridique adapté : code forestier, code pastoral, code foncier.

Comme perspectives pour l'an 2000 on peut retenir les prévisions suivantes :

- encadrer les villages du cercle en l.a.e. et aménagement de terroir à 80 % ;
- multiplier par deux, la vitesse de réalisation des mesures anti-érosives et d'aménagement de terroir ;
- la prise de conscience par l'ensemble de la population du cercle de Koutiala des phénomènes de dégradation de l'environnement et des possibilités d'y remédier ; 100 % d'ici l'an 2000 ;
- la diversification des méthodes de sensibilisation pour faire parvenir le message auprès de la

population rurale, l'utilisation des canaux d'information traditionnels : de 3 en 1994 (Radio, journal jekabaara, encadrement) on va à 6 (+ télévision + canaux traditionnels + foires hebdomadaires) en l'an 2000 :

- coordination entre les services (éducation, santé, CMDT, Eaux et Forêts, Elevage, etc.) pour la transmission des messages : 4 messages à passer auprès des villageois par les autres services d'ici l'an 2000 :
- l'adoption progressive de façon continue par un pourcentage significatif des exploitations des techniques qui conservent, restaurent et qui réduisent la pression sur l'utilisation des ressources agro-sylvo-pastorales : arriver à 75 % des exploitations des villages l.a.e. qui pratiquent au moins une mesure et 25 % plus de 3 d'ici l'an 2000 ;
- amélioration des compétences de l'encadrement et des cadres villageois pour vulgariser les techniques au niveau des exploitations individuelles :
 - . niveau encadrement : de 70 % en 1994 à 90 % en l'an 2000 pour au moins 2 formations reçues ;
 - . niveau paysans : pour au moins 3 formations dans des villages l.a.e. de plus de deux ans ;
- mettre un accent sur l'entretien des dispositifs déjà réalisés : arriver à 80 % des lignes en cailloux et barrières correctement entretenues en l'an 2000, 100 % pour les barrages ;
- l'adoption progressive de façon continue par un pourcentage significatif des collectivités villageoises des techniques pour conserver, restaurer et améliorer la productivité des ressources agro-sylvo-pastorales dans le terroir villageois :
 - . réalisations collectives dans les anciens villages l.a.e.: de 0,74 hoJr/hab en 1992/1993 à 1 hoJr/hab en l'an 2000,
 - . nombre de villages ayant élaboré un plan pluriannuel d'aménagement de terroir villageois : de moins de 10 en 1994 à 50 en l'an 2000,
- la formation d'une équipe technique l.a.e. villageoise et l'élaboration d'un plan d'aménagement l.a.e. dans 96 villages nouveaux : 224 ETV ou plus d'ici l'an 2000 ;
- la définition et l'application par les collectivités villageoises des mesures de caractère légal et organisationnel pour la gestion durable des ressources agro-sylvo-pastorales :
 - . nombre villages l.a.e. ayant mis en place une nouvelle réglementation locale concernant la GRN : 30 % des villages l.a.e. d'ici l'an 2000 ;
 - . nombre de villages l.a.e. avec plan pluriannuel d'aménagement et de GTV : 24 villages d'ici l'an 2000.

3.2.5. Dans le domaine d'organisation du monde rural

Les activités de production du cercle de Koutiala reposent essentiellement sur la culture cotonnière génératrice de ressources importantes, non seulement pour le producteur, mais aussi représente une part importante dans l'économie nationale. Pour mener à bien et pérenniser cette fonction de production, plusieurs structures et stratégies ont été mises en place au niveau du monde rural. Dans ce cadre nous pouvons noter les associations villageoises, les tons villageois, les caisses d'épargne et de crédit, des associations spécialisées (association des forgerons, des menuisiers, etc.), syndicat des producteurs. Il faut ajouter à ceux-ci des coopératives d'approvisionnement et ou spécialisées et d'autres actions soutenues par les partenaires au développement.

En effet, les associations villageoises dont l'action a démarré en 1974 dans la Région CMDT de Fana, se

sont étendues à la Région CMDT de Koutiala en 1975. La considération d'un village comme AV n'intervenait que quand le système de production était maîtrisé par tous les producteurs (avoir au moins cinq néo-alphabètes, bonne valorisation du travail par un haut niveau de productivité, bonne maîtrise de la capacité d'endettement, autosuffisance alimentaire, niveau de technicité agricole satisfaisant). D'une AV par village au départ, nous en dénombrons plusieurs dans le même village suite à de profondes crises de fonctionnement. Actuellement tous les villages de Koutiala sont érigés en AV.

Pour consolider les acquis de ces Associations et créer une saine émulation entre elles, les plus performantes devaient être érigées en Tons villageois. Selon la loi n°88-62/AN/RN du 10 Juin 1988 l'AV est une organisation précoopérative à caractère transitoire dont la finalité est de se transformer en Ton Villageois.

Tout comme les AV, les TV sont aussi confrontés aux problèmes de fonctionnement. Cependant les activités menées par ces structures (345 AV et 20 TV) depuis leur création à nos jours, ont permis de faire d'importantes réalisations, entre autres :

- 222 centres d'alphabétisation ;
- 44 cases d'accouchement ;
- des infirmières et maternités ;
- 36 magasins de stockage en dur, des écoles ;
- du matériel de commercialisation ;
- 331 forages ;
- 228 puits améliorés ;
- parcs de vaccination ;
- des plantations villageoises ;
- des moyens de déplacement ;
- des caisses d'épargne et de crédit.

Malgré la maîtrise des objectifs de départ, et les résultats spectaculaires, ces structures (Associations villageoises et Tons villageois) connaissent aujourd'hui de multiples problèmes (mésentente, mauvaise gestion des biens collectifs, problèmes de personnes et de chefferie, absence de texte pour le fonctionnement intérieur des AV, manque d'arbitrage de la CMDT dans les problèmes de gestion, inefficacité des bureaux, considérations politiques) ce qui occasionne un éclatement démesuré de ces structures voire la dislocation de la cohésion sociale, trait dominant de notre entité villageoise.

Les autres organisations non moins importantes interviennent dans la mise en oeuvre des actions de développement (coopératives pour l'approvisionnement en produits de première nécessité et pharmaceutiques, les associations pour les activités diverses, le syndicat pour la défense des intérêts des producteurs). Toutes ces structures sont touchées par les effets induits des problèmes au niveau des AV et TV.

Pour cicatriser cette plaie béante dont souffre le monde rural Koutialais, un séminaire atelier a réuni les producteurs, syndicat, administration, partenaires au développement et services techniques durant deux

jours (30 et 31 Mai 1994) pour réfléchir sur la consolidation des AV et TV ainsi que sur l'inter-relation des activités professionnelles agricoles. Ces journées de réflexion qui constituent un point de départ de recherche des solutions concertées aux problèmes, projettent dans l'avenir des actions à entreprendre dont :

- l'élaboration de règlement intérieur pour chaque AV ;
- la négociation d'un cadre juridique pour les AV ;
- l'humanisation de l'éclatement des AV mères en tenant compte de certains critères techniques ;
- la mise en place d'un système de gestion adéquat et transparent ;
- la collaboration et la concertation entre les différents intervenants ;
- la formation des producteurs et des responsables ;
- l'introduction d'un système d'indemnisation des responsables ;
- l'instauration d'un système d'information permanente.

3.3. Conclusions

Au vu des résultats, contraintes et perspectives au niveau du cercle de Koutiala en matière de développement rural intégré, force est de reconnaître qu'il y a eu des progrès substantiels en matière de maîtrise des techniques et d'autosuffisance alimentaire.

Il y a eu une forte mutation des systèmes de production, ce qui a engendré une augmentation du niveau de vie du paysannat. Mais cela ne s'est pas fait sans problèmes, car ce progrès a été fait au détriment de l'environnement qui s'est vu fortement dégradé au point de remettre en cause les acquis (insuffisance des terres de culture érosion du sol, surpâturage, dégradation des forêts etc.).

Heureusement le danger a été perçu à temps et un recentrage des activités a été entamé pour concilier les besoins de production et les besoins de conservation des sols et des eaux sur la base d'une stratégie de gestion rationnelle des ressources naturelles dans un contexte de maintien du potentiel productif.

Cette stratégie démarrée depuis 1986 est en perpétuelle adaptation en fonction des réalités des zones agro-climatiques et socio-économiques du cercle de Koutiala.

Les perspectives envisagées laissent voir l'importance des activités (techniques et socio-organisationnelles) à mener d'ici l'an 2000 pour circonscrire les contraintes soulignées.

4. Structure d'un modèle de simulation du développement agricole à Koutiala

T.E. Struif Bontkes

Département de l'Agronomie Générale et Régionale
Université Agronomique de Wageningen

4.1. Introduction

L'insécurité alimentaire est un problème qui menace les populations dans de vastes régions en Afrique. Généralement, on constate que la croissance démographique en est la cause ; surtout dans les pays où il n'y a pas d'autres sources de revenu à part l'agriculture. Dans les régions où il y a des terres en abondance, la croissance démographique est compensée par une expansion de la superficie cultivée. Dans une telle situation, la productivité du sol est maintenue par les jachères de longue durée. Toutefois à la longue, la densité de la population peut atteindre un point où il n'est plus possible de maintenir ce type de jachère à cause du manque de terres. Afin d'assurer une alimentation suffisante à sa famille, un paysan peut raccourcir la durée de la jachère. Mais cette pratique favorise un appauvrissement de la terre. Par conséquent, le paysan sera tenté d'agrandir la superficie cultivée pour maintenir la production au même niveau, ce qui diminuera davantage la productivité du sol.

Une possibilité de faire face à cette situation est l'intensification de l'agriculture, c'est-à-dire d'y allouer plus de travail et/ou d'intrants (Binswanger & McIntire, 1987) ou même un changement total de son système de production. Cependant ceci n'est possible que si c'est faisable et profitable.

Qu'une agriculture durable soit possible, dépend surtout des circonstances locales et des paysans eux-même, mais il y a aussi des possibilités pour le gouvernement d'influencer le développement par exemple par les prix des produits et des intrants, la technologie, l'infrastructure routière, les services vétérinaires, la vulgarisation etc.

Pour que le gouvernement choisisse les moyens appropriés pour stimuler une agriculture durable, il ne suffit pas de connaître la situation actuelle mais il faut également comprendre la dynamique du développement dans la région afin d'éviter que les interventions sortent des effets négligeables, voire indésirables.

Cette étude a pour objectif méthodologique le développement des méthodes qui permettent de mieux comprendre la dynamique du développement agricole au niveau régional afin d'aider le gouvernement ou d'autres institutions à planifier les interventions rurales qui visent à réaliser une agriculture durable.

La méthodologie qui est utilisée dans cette étude est la simulation dynamique. La Simulation Dynamique permet de reproduire les développements dans une région durant un certain nombre d'années (par exemple de 1975 jusqu'à 1990). Elle est basée sur des données qui décrivent la situation de départ et sur la connaissance des processus. Si le modèle reproduit à peu près le même comportement que la réalité, on peut étendre la période de simulation jusqu'à par exemple l'année 2000 pour mieux comprendre les développements futurs. En changeant par exemple quelques paramètres, le prix de l'engrais, un tel modèle permet de prédire les effets de cette intervention sur les développements dans cette région.

Cette méthode de la modélisation peut être considérée comme complémentaire à la méthode du PSS : la

Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM). Tandis que le PLBM a pour objectif d'identifier des options pour une agriculture durable, la méthode de la Simulation Dynamique peut être utile à explorer les possibilités, de réaliser ses options à partir de la situation actuelle.

La région qui a été choisie comme exemple est le cercle de Koutiala, parce que dans cette région la durabilité de l'agriculture est menacée par la croissance de la population humaine et animale.

4.2. Description générale de la situation agricole dans le cercle de Koutiala

Cercle de Koutiala est situé dans le Sud-Est du Mali.

La superficie du cercle est 9100 km². Le Tableau 4.1 montre la croissance de la population dans le cercle.

Tableau 4.1. Le développement de la population dans le cercle de Koutiala (Annuaire Statistique Région de Sikasso, DNSI, 1991).

	1976	1987	1991
Population	200.019	282.328	304.557

En 1987 78 % de la population résidait en milieu rural (Sissoko *et al.*, 1994).

Le climat se caractérise par une alternance de saison sèche et de saison pluvieuse entre Juin et Octobre. La pluviométrie moyenne est de 800 mm an⁻¹ avec un écart type de 200 mm (Berthe *et al.* (1991), de Steenhuijsen Piters (1988), Sissoko *et al.* (1994)).

Le cercle de Koutiala est constitué de vastes surfaces sommitales cuirassées, séparées par de hauts et bas glacis, des glacis d'accumulation et des bas-fonds. Généralement les sols sont fortement dégradés (Berthe *et al.*, 1991) ; Jansen & Diarra, 1992).

Selon Leloup & Traoré (1989) environ 50 % des terres sont cultivables et 45 % des terres cultivables sont exploités effectivement.

Les paysans de Koutiala sont au premier rang des cultivateurs. Les cultures les plus importantes sont : le mil, le sorgho, le coton, le maïs, le niébé et l'arachide. Le mil et le sorgho sont cultivés pour la consommation familiale, tandis que le coton, le maïs et l'arachide sont considérés comme des cultures de rente.

*Tableau 4.2. La répartition des sols dans le cercle de Koutiala (Sissoko *et al.*, 1994).*

	superficie (km ²)
Argile limoneux inondable	272
Limon gravillonnaire (L1g)	3806
Limon argileux (LA1)	2430
Limon argileux (LA4)	24
Limon argileux gravillonnaire (LA1g)	1834
Limon limono-argileux (LLA-1)	154
Limon limono-argileux (LLA-3)	274
Limon sableux	282

Tableau 4.3. Le développement du nombre d'exploitations (Enquête Agricole 76/77 ; Berthe et al., 1991).

	Nombre d'exploitations
1976	21.064
1983	28.928
1984	29.823
1985	31.207
1986	32.715
1987	34.366
1988	34.955

Tableau 4.4. La répartition des exploitations selon la superficie cultivée en 1976 (Enquête agricole 1976/77).

0 - 4 ha	8.425
4 - 10 ha	10.216
> 10 ha	2.422

Grâce à la culture du coton et aux crédits accordés par la CMDT, beaucoup de paysans ont pu s'acheter des boeufs de labour et l'équipement d'attelage. Ce qui leur a permis d'étendre leur superficie cultivée. Les paysans qui ont un revenu dépassant leur besoin, ont investi le surplus dans un troupeau par manque d'autres entreprises. Si au fil des années, les besoins de ces paysans dépassent leurs revenus, ils peuvent vendre quelques animaux pour satisfaire leurs besoins de consommation. La possession de bétail est maintenant le critère le plus important pour classer les exploitations.

Tableau 4.5. La répartition des exploitations selon la classification de DRSPR en 1992 (de Steenhuijsen Pijters, 1988) ; DRSPR (?).

Type A : Exploitation équipée avec un troupeau	9.002
Type B : Exploitation équipée sans troupeau	7.818
Type C : Exploitation non-équipée, qui emprunte une équipe	2.730
Type D : Exploitation non-équipée	530

L'objectif de cette étude est de trouver des moyens pour assurer une agriculture durable, c'est-à-dire une agriculture qui est capable d'assurer un revenu raisonnable à la population de la région (critères : revenu > dépenses familiales souhaitées) sans diminuer la productivité du sol (critères : niveau de C, N, P pH et l'épaisseur de la couche de sol ne doit pas diminuer).

En plus, l'attraction de la région doit être telle que l'émigration ne dépasse pas l'immigration. Parce que, bien qu'il soit plus facile de nourrir une petite population dans une vaste région, la population émigrée dans ce cas chargera d'autres régions et peuvent par conséquent détériorer la situation de ces régions. Ici le nombre d'exploitations, l'immigration et l'émigration servent comme critères.

Tableau 4.6. L'évolution du nombre d'exploitations, de la superficie de coton et du nombre de boeufs de labour et d'autres bovins depuis 1975.

	Nombre d'exploitations	Superficie de coton	Productivité (kg ha ⁻¹)	Boeufs de labour	Autres boeufs
1975	12.570	23.976	1.167	23.515	0
1976	17.214	30.362	1.267	26.206	0
1977	17.771	33.424	1.165	20.046	0
1978	17.552	36.072	1.095	31.911	0
1979	17.621	36.950	1.199	31.989	12.586
1980	16.084	32.051	1.134	32.926	22.850
1981	15.494	28.115	1.294	32.890	112.929
1982	15.052	36.589	1.298	33.949	101.385
1983	15.784	36.835	1.357	38.386	102.073
1984	16.277	36.405	1.122	38.750	95.538
1985	16.676	41.658	1.125	26.943	103.030
1986	16.703	40.695	1.308	45.622	98.616
1987	17.008	35.982	1.294	46.418	120.586
1988	17.701	44.321	1.317	52.271	136.951
1989	18.637	40.525	1.154	54.966	-
1990	19.021	44.010	1.376	58.658	192.135
1991	18.783	43.778	1.250	64.091	207.525
1992	19.287	50.987	1.344	79.555	213.457
1993	19.260	40.346	1.234	70.047	215.307

La période étudiée est la période de 1975-2000. La période de 1975-1990 est étudiée pour la calibration et validation du modèle, ensuite on essayera de connaître les conséquences des interventions jusqu'à l'an 2000. Cependant cet article se limite à la première période ; si le modèle s'est avéré assez valable, les possibilités pour l'avenir peuvent être connues.

4.3. Description du modèle

4.3.1. Introduction

Le DRSPR discerne quatre types d'exploitations agricoles, basées sur la possession du matériel agricole et des boeufs (Tableau 4.5).

Cependant, pour le moment, seulement trois types d'exploitations sont discernés dans le modèle :

A. Extensif

Le paysan ne cultive que pour l'autosuffisance. Il ne possède pas de boeufs et n'utilise pas d'intrants comme de l'engrais.

B. Semi-intensif

Le paysan cultive tout d'abord afin d'assurer la nourriture pour sa famille et ensuite pour gagner de l'argent. Il cultive du mil, du maïs et du coton. Il possède deux boeufs pour la traction et utilise leur fumier pour le maintien de la fertilité du sol. Le fourrage des animaux est constitué d'herbes et des produits ligneux du parcours, des sous-produits agricoles (par exemple de la paille du mil) et une quantité restreinte du fourrage concentré (le tourteau de coton). Il cultive 6,5 ha.

C. Intensif

Le paysan cultive non seulement pour assurer son autosuffisance mais aussi que pour gagner de l'argent (maïs et coton). Il possède des boeufs et de l'engrais chimique pour les parcelles cultivées. Le fourrage des animaux est constitué d'herbes et des produits ligneux du parcours, des sous-produits agricoles et assez de tourteau de coton pour assurer une bonne croissance des animaux. Il cultive 15 ha.

D'autres types d'exploitation, comme les types qui sortent de l'étude du projet PSS comme des types optimaux, pourraient être ajoutés.

N.B. Il est supposé que la transhumance ne joue pas un rôle important dans cette région.

Bien que le PSS discerne 8 types de sol dans le cercle de Koutiala, pour cette étude, seulement 3 types sont retenus : LA1, LA1g et Lg1. De ces types La1 et LA1g sont considérés comme cultivables.

On constate que les paysans préfèrent cultiver le type LA1, mais comme ils ne peuvent pas tout à fait éviter les autres deux types, 80 % de leur superficie cultivée consiste en LA1, 10 % en LA1g et 10 % en

L1g. La superficie qui n'est pas cultivée est disponible pour la pâture. Quand toute la superficie de LA1 est occupée, les paysans occupent LA1g et puis L1g.

La description du modèle se fera par étapes.

A chaque étape une partie du modèle (un module) est décrite par un diagramme causal, représentant les relations principales entre les variables par des flèches. Ensuite ces relations sont expliquées. Comme les modules sont liés l'un à l'autre, dans chaque module il y a des variables qui sont déterminées dans d'autres modules. Ces variables sont indiquées par une ligne autour.

Comme un des objectifs du gouvernement est d'arrêter la dégradation des terroirs, le gouvernement doit prendre des mesures qui encouragent les paysans de changer leur méthode de culture pour une méthode qui conserve les terroirs. Donc il est très important de disposer d'une hypothèse sur la façon dont les paysans réagissent aux changements exogènes (par exemple changement des prix) ou endogènes (par exemple à un déficit alimentaire).

Il est supposé que le comportement d'un paysan soit gouverné dans une grande mesure par le désir de pourvoir les membres de sa famille de la nourriture, des vêtements etc., ce qu'il essaie de réaliser par la production des cultures vivrières et gagner des revenus par la vente de sa production. C'est la raison pour laquelle le premier module (4.3.2 : l'économie du paysan) décrit la façon dont le paysan essaie d'assurer l'alimentation de sa famille et les revenus pour pourvoir satisfaire les besoins.

Ensuite quelques modules seront présentés, ils décrivent les relations qui jouent un rôle dans la production des cultures (4.3.3) : la détermination de la productivité des cultures, la dynamique de l'azote, du phosphore, de l'eau et de l'acidité du sol. Puis les relations qui sont décrites jouent un rôle dans le système de production animale (4.3.4) : il s'agit ici de la dynamique du troupeau, de la productivité animale et de la production des pâturages.

Tandis que ces processus sont décrits au niveau ferme, les processus au niveau de la région (4.3.5) sont aussi importants, parce que la productivité du sol est affectée par l'extension des terres cultivées et par l'agrandissement du troupeau.

4.3.2. L'économie du paysan

Le revenu brut est déterminé par les revenus provenant de la vente des produits agricoles et du bétail, des frais de production, de l'intérêt et des termes si le paysan à emprunter de l'argent. Il a été constaté que les membres de la famille ne travaillent pas hors de l'exploitation, à moins que la famille du paysan n'a pas assez à manger. En ce cas les travaux champêtres de ce paysan seront retardés, causant une diminution de la productivité par hectare (de Steenhuijsen Piters, 1988).

La vente des produits agricoles dépend de la production du maïs, du coton et du mil (pour le moment les autres cultures comme le niébé et l'arachide ne sont pas considérées). En plus il est remarqué que la vente des produits comme le lait, le karité et le bois donne un revenu additionnel (vente d'autres

produits). En ce qui concerne le mil, le paysan ne vend que la quantité qui reste après consommation et pertes de stockage. La consommation du mil dépend du nombre de bouches à nourrir (besoin alimentaire) mais peut être restreinte par la production totale.

La production dépend de la production par ha (prod ha⁻¹) et de la superficie de ces cultures.

La superficie du mil est déterminé par le besoin alimentaire. Bien que la quantité minimale du mil par tête soit 250 kg an, les paysans compte d'un besoin plus élevé (de Steenhuijsen Piters, 1988). Il a été constaté que le type A prend moins de risque que les autres types, si bien que le type A cultive une superficie de mil pour avoir 750 kg par bouche, le type B 500 kg et le type C pour avoir 375 kg par ha.

Figure. 4.1. Diagramme causal, représentant les variables principales et leurs relations, qui déterminent l'économie du paysan.

La superficie du mil détermine la superficie qui reste pour le coton et le maïs. La division de cette superficie dépend des soldes escomptés par ha de ces deux cultures. Le solde escompté du maïs est basé sur les soldes des trois années passées et le prix de cette année, parce que les prix du coton est annoncé avant le temps de semis.

La façon dont la production par ha (prod ha⁻¹) est déterminée, sera expliquée plus tard.

La vente des boeufs (vente régulière) est déterminée par le nombre de boeufs qui sont vendus normalement et les prix des boeufs.

Les frais de production consistent en frais de culture et en frais d'élevage. Les frais de culture sont les dépenses pour l'engrais, les produits phytosanitaires, les semences et le remplacement des outils, qui dépendent du type de paysan et des superficies des cultures (Tableau 4.7). On remarque que les paysans n'engagent pas de main-d'oeuvre externe.

Les frais d'élevage consistent en frais vétérinaires, en coûts du fourrage concentré et, si nécessaire, en remplacement des boeufs de labour.

Les dépenses pour l'intérêt et pour le paiement des termes dépendent du montant que le paysan a dû emprunter pour couvrir les dépenses familiales. Ces dépenses familiales peuvent augmenter si la production de mil ne suffit pas pour couvrir les besoins alimentaires. Si le revenu brut ne suffit pas pour couvrir les dépenses familiales, le paysan du type C peut vendre des animaux (vente forcée) afin d'obtenir de l'argent. S'il n'a pas (assez) de boeufs, il peut emprunter un montant. Cependant, ce montant ne peut pas dépasser un certain niveau qui est déterminé par les biens du paysan.

Tableau 4.7. Les intrants par type de paysan (selon de Steenhuijsen Piters, 1988), van Duivenbooden et al., 1991).

	Type A	Type B	Type C
Coton			
Urée (kg ha ⁻¹)	0	25	50
Complexe coton (kg ha ⁻¹)	0	75	150
Prod. phyto (litres ha ⁻¹)	0	7,5	15
Semences (kg ha ⁻¹)	0	10	10
Maïs			
Urée (kg ha ⁻¹)	0	25	50
Complexe maïs (kg ha ⁻¹)	0	50	100
Semences (kg ha ⁻¹)	100	100	100
Mil			
Urée (kg ha ⁻¹)	0	10	25
Complexe mil (kg ha ⁻¹)	0	10	25
Frais vétérinaires (Fcfa animal ⁻¹)	0	56	280
Fourrage concentré (kg animal ⁻¹)	0	10,6	53

Le revenu net est le revenu qui reste du revenu brut après avoir déduit les dépenses familiales. Les paysans du type C utilisent un certain pourcentage du revenu net pour acheter des boeufs (achat des boeufs).

4.3.3. La productivité des cultures

La productivité des cultures par ha par type (prod ha⁻¹) est calculée en tenant compte de la productivité de ces cultures par type de sol et les parties de chaque type de sol dans le totale. La détermination de la productivité est largement basée sur un modèle qui est développé par Van Keulen. Selon ce modèle la productivité est déterminée par le facteur le plus limitatif (l'azote, le phosphore, l'eau ou la productivité potentielle sous les conditions climatiques) et par les dégâts causés par les insectes, les maladies et les mauvaises herbes. Il est constaté que l'effet des dégâts dépend du type de ferme (à cause de l'utilisation des produits phytosanitaires). Les productivités potentielles sont basées sur les productivités les plus élevées, obtenues dans ces régions : 2.500 kg de mil, 2.000 kg de coton et 6.000 kg de maïs ha⁻¹ (van Duivenbooden, 1992).

Les productivités limitées par les nutriments sont déterminées par les quantités des nutriments absorbés, l'indice de récolte (harvest index) et les efficacités de l'utilisation des nutriments (nutrient use efficiency). La quantité des nutriments absorbés dépend de la quantité qui est disponible dans le sol (une plante ne peut pas absorber une quantité illimitée) et de l'absorption de l'autre nutriment. L'indice de récolte est la partie de la végétation aérienne qui est récolté. L'efficacité de l'utilisation de nutriments est la production végétale par kg de nutriment absorbé. L'efficacité de l'utilisation de nutriments peut être calculée sur la base de l'indice de récolte, les concentrations minimales (Nmin et Pmin) des nutriments

dans les graines, la paille et les racines et le rapport entre la production de la végétation aérienne et la production des racines. La productivité limitée par l'eau est déterminée par la quantité d'eau disponible pour être absorbée par la végétation, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et le déficit de pression de vapeur (Vapour pressure deficit).

Figure. 4.2. Diagramme, représentant les facteurs qui déterminent la productivité d'une culture.

Tableau 4.8. Les indices de récolte, les efficacités de l'utilisation des nutriments, les rapports entre la production aérienne et la production des racines et les concentrations minimales des nutriments dans les graines, la paille et les racines du mil, du coton et du maïs (selon van Duivenbooden, 1992 et Pieri, 1992).

	Mil	Coton	Type C
Indice de récolte	0,22	0,20	0,41
Efficacité de l'utilisation de l'azote	40,6	46,3	55,7
Efficacité de l'utilisation du phosphore	338	317	435
Efficacité de l'utilisation de l'eau	0,0055	0,005	0,0055
Production aérienne/production racine	15	10	12
N-min graines	0,013	0,008	0,013
N-min paille	0,003	0,003	0,003
N-min racines	0,0032	0,0032	0,0032
P-min graines	0,0018	0,0018	0,0018
P-min paille	0,003	0,0003	0,003
P-min racines	0,00032	0,00032	0,00032

Les disponibilités de l'azote, du phosphore et de l'eau dans le sol sont déterminées par les processus pédologiques. La façon dont les dynamiques de tous ces éléments ont été modélisés est expliquée ci-dessous.

4.3.3.1. La dynamique de l'azote

Il y a trois types de stocks de l'azote : le N-libre (le source de N-disponible), le N-instable et le N-stable.

Le N-libre augmente par l'application de l'engrais et du fumier animal par l'azote, qui est apporté par la pluie, et par la minéralisation des résidus de la végétation (N-résidu), de N-instable et de N-stable. Au cours de l'année, tout le N-libre disparaît à cause de l'absorption par la végétation, par l'immobilisation par la matière organique, par la dénitrification ou par le lessivage. La quantité de l'azote qui est lessivée ou dénitrifiée dépend de la pluviométrie, de la texture, de la matière organique et du pH.

Les stocks de N-instable et de N-stable sont étroitement liés aux stocks de la matière organique. Au début de la simulation (1975) il a été constaté que le sol contient 1 % de la matière organique, ce qui

équivalent à $5,5 \text{ g C kg}^{-1}$ (van Keulen & Wolf, 1986), dont 75 % est du C-stable et 25 % est du C-instable ; le C/N-quotient de C-instable est estimé à 10 et de C-stable à 20. La quantité de N-instable augmente par l'immobilisation de N-libre, la végétation, le fumier, la fixation biologique ($3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) et la décomposition de N-stable. La quantité du fumier dépend du nombre d'animaux par ferme, de superficie de la ferme où le fumier est appliqué de la production du fumier par animal ($9,5 \text{ kg N an}^{-1}$) et du pourcentage du fumier qui est apporté au champ. On suppose que ce pourcentage est de 31 % pour le type B et 46 % pour le type C (basé sur van Duivenbooden *et al.*, 1991), dont 10 % sont apportés au champ de mil, 40 % au champ de maïs et 50 % au champ de coton. La quantité de N-instable diminue par la minéralisation, par l'immobilisation sous forme stable et par l'érosion.

Le stock de N-stable augmente par l'immobilisation de N-instable et diminue par la décomposition et par l'érosion.

Figure. 4.3. La dynamique de l'azote.

4.3.3.2. La dynamique du phosphore

Pour le phosphore 5 stocks sont discernés : le P-libre, le P-inorganique sous formes instable et stable (P-instable et P-stable) et le P-inorganique sous formes instable (Por-instable et stable (Por-stable)).

Le stock P-libre augmente à cause de l'application de l'engrais et du fumier, par la décomposition des résidus végétaux et par la minéralisation des autres stocks. Comme pour l'azote, on constate que le P-libre, qui est formé au cours d'une année, disparaît à cause de l'absorption ou de l'incorporation dans les fractions instables.

En ce qui concerne les formes inorganiques, le P-instable augmente par l'incorporation du P, provenant de P-libre, de P-stable et de Por-instable, et diminue par la conversion en P-stable. On constate que les quantités des stocks de phosphore inorganique en 1975 sont $7,4 \text{ g P-instable kg}^{-1}$ et $7,4 \text{ g P-stable kg}^{-1}$. Le P-stable augmente par l'apport de l'engrais, par la délitation du sol et la stabilisation de P-instable et diminue par la conversion en P-instable et P-libre.

Le stock de Por-instable ($C/P = 100$) augmente par l'apport du fumier (0,3 % P) et les résidus végétaux, et par la décomposition de la matière organique stable et diminue par la conversion en P-libre et en Por-stable. Le Por-stable ($C/P = 200$) augmente par conversion de Por-instable.

Figure. 4.4. La dynamique du phosphore.

4.3.3.3. La disponibilité de l'eau

La productivité, limitée par la disponibilité de l'eau est déterminée par la disponibilité de l'eau et l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Tableau 4.8). La disponibilité de l'eau dépend de l'infiltration de l'eau

dans le sol, du drainage et de l'évaporation de l'eau du sol. L'infiltration est déterminée par la pluviométrie et les facteurs qui déterminent le ruissellement, comme l'inclinaison et la longueur de la pente, la texture du sol et la couverture végétale (Stroosnijder, en prép.).

Figure. 4.5. Les facteurs qui déterminent la disponibilité de l'eau.

Il y a drainage quand l'infiltration excède la capacité d'absorption de l'eau du sol et l'évapotranspiration potentielle. L'évaporation est déterminée par l'infiltration et le drainage.

La capacité d'absorption dépend de la texture du sol, du pourcentage de la matière organique et de la profondeur du sol enraciné, qui est déterminé par le type du sol, la formation du sol et l'érosion. La quantité du sol qui est érodé dépend de la pluviométrie, des facteurs topographiques, de la végétation, de la texture et du pourcentage de la matière organique (Roose, 1977).

4.3.3.4. L'acidité du sol

L'acidité du sol joue un rôle important dans l'agriculture à cause de ses effets sur la disponibilité des nutriments et des éléments toxiques.

On craint que les sols en Afrique de l'Ouest s'acidifient de plus en plus à cause de l'utilisation d'engrais acidifiants (Sement, 1980 ; van der Pol, 1992).

L'acidité du sol (mesuré comme pH) est déterminée par la quantité des acides dans le sol et le pouvoir du sol de tamponner les effets de ces acides sur le pH. Ce pouvoir tampon dépend du pH actuel et des pourcentages de l'argile et de la matière organique.

L'augmentation des acides (acides apportés) dépend de l'apport et de l'enlèvement des acides organiques, et des acides qui viennent ou disparaissent par la pluie et le lessivage.

Le processus de nitrification apporte des acides au système, tandis que la dénitrification et l'absorption du nitrate enlève des acides du système. Le pH influence à son tour le processus de nitrification.

La quantité des acides organiques augmente avec l'accumulation de la matière organique et de l'enlèvement de la matière végétale, mais diminue par un apport de fumure organique (Heylar & Porter, 1989).

Figure. 4.6. Les facteurs qui déterminent l'acidité du sol.

4.3.4. La production animale

Quant à la production animale il n'est tenu compte que des bovins. Dans ce modèle les animaux sont

distingués selon leur âge, sexe et type d'exploitation.

D'après Sanogo & Kleene (1981) 5 groupes d'âge sont discernés pour les femelles (0-1, 1-2, 2-3, 3-4 et 4-10) et 3 pour les mâles (0-1, 1-2, 2-10). Au début (en 1975) les types B possédaient 2 boeufs de labour et les types C 6 boeufs de labour (Tableau 4.6). Bien que les paysans du type C n'aient pas d'autres bovins au début, ils peuvent en acheter s'ils obtiennent des revenus qui dépassent leur besoin.

Chaque année une partie des animaux d'un certain groupe d'âge passent au groupe plus âgé.

L'évolution du troupeau dépend de la naissance des veaux, de la mortalité, de l'achat et de la vente.

Le nombre de veaux, qui sont nés par an, dépend du nombre de vaches adultes (4 ans et plus) et du taux de naissance. Le taux de naissance est déterminé par le gain de poids des animaux pendant leur seconde année, qui est à son tour déterminé par la disponibilité et la qualité du fourrage ([Breman & De Ridder, 1991](#)). La disponibilité du fourrage dépend de la disponibilité du fourrage herbacé, du fourrage ligneux, de la paille du mil et du maïs, du fourrage concentré et du nombre de bovins par ha.

Selon [Breman & De Ridder](#) le rapport entre le gain de poids et le taux de vêlage est établi (Tableau 4.9).

Le taux de mortalité dépend également du gain de poids (cf poids, Tableau 4.9), mais aussi du taux de mortalité de base (Tableau 4.10).

[Figure. 4.7.](#) La dynamique du troupeau.

Tableau 4.9. L'effet du gain du poids sur le taux de vêlage et le taux de mortalité (cf poids ; [Breman & De Ridder, 1991](#)).

Gain de poids (kg an ⁻¹)	Taux de vêlage	Cf poids
25	0,5	0,15
30		0,33
35	0,6	0,45
40		0,52
45	0,66	0,56
50		0,58
55	0,75	
65	0,8	
75	0,85	

Tableau 4.10. Les taux de mortalité de base (cf âge).

Groupe d'âge	Cf âge
0 - 1	0,1
1 - 2	0,04
2 - 3	0,02
3 - 4	0,02
4 - 10	0,04

L'équation suivante est utilisée pour calculer le taux de mortalité :

$$\text{taux de mortalité} = \text{cf âge} / \text{cf poids}$$

L'achat dépend du type de ferme et des revenus du paysan. Un paysan du type C investit 80 % de son revenu net à l'achat des boeufs.

Le nombre de boeufs qui sont vendus normalement dépend de l'âge des animaux : tous les animaux qui atteignent l'âge de 10 ans sont vendus et 50 % des mâles, qui sont plus que 2 ans et qui ne sont utilisés pour le labour. En plus le paysan peut aussi vendre des animaux quand ses revenus ne couvrent pas les besoins familiaux. Dans ce cas il vend d'abord les mâles adultes (sauf les boeufs de labour) et puis les femelles.

Un facteur qui ressort de cette description comme très important est le gain de poids d'un animal pendant sa seconde année. La façon dont ce gain de poids est calculé est décrite ci-dessous.

Le gain de poids est déterminé par la quantité du fourrage digestible qui est ingéré par l'animal. [Breman & De Ridder](#) calcule le gain de poids (en g par poids métabolique de l'animal) comme suit :

Si la quantité du fourrage ingéré par jour (D) est plus de 36 g kg^{-0,75}, le gain de poids par jour est de :

$$0,49 * (D - 36) * \text{poids}^{0,75}.$$

Si D < 36, la perte de poids par jour est de :

$$0,58 * (D - 36) * \text{poids}^{0,75}.$$

Il a été remarqué que le poids de l'animal est de 150 kg.

Tableau 4.11. Le rapport entre la quantité du fourrage ingéré et la digestibilité (exprimé en pourcentage de la matière sèche qui est digestible ; [Breman & De Ridder, 1991](#)).

Digestibilité (%)	Quantité du fourrage ingéré (g jour ⁻¹)
35	22
40	27
45	32
50	38
55	45
60	54
65	61
70	72

La digestibilité du fourrage dépend du taux de N de la matière sèche.

Tableau 4.12. Le rapport entre le taux de N et la digestibilité ([Breman & De Ridder, 1991](#)).

Taux de N (g kg ⁻¹)	Digestibilité (%)	Taux de N (g kg ⁻¹)	Digestibilité (%)
0,03	32	0,13	60
0,04	36	0,14	62
0,05	39	0,15	64
0,06	42	0,16	65
0,07	45	0,17	67
0,08	48	0,18	67
0,09	52	0,19	68
0,10	54	0,20	69
0,11	56	0,21	70
0,12	59		

Donc le gain du poids des animaux dépend de la quantité du fourrage disponible et du taux d'azote de ce fourrage. Il est admis qu'un animal a besoin de 2008 kg M.S. an⁻¹. Le fourrage dont les animaux disposent, dépend du type de l'exploitation et de la saison. Les animaux disposent du fourrage de la strate herbacée et de la strate ligneuse du parcours, de la paille du mil après récolte et du fourrage concentré (le tourteau de coton). Comme les fourrages herbacés et ligneux sont des produits provenant des pâturages communs, ces produits sont disponibles pour les animaux. Cependant la paille qui est produite à la ferme est seulement disponible pour les animaux de cette ferme. Il a été constaté que les animaux reçoivent une quantité fixe du fourrage concentré. Cependant les boeufs de labour du type C reçoivent une certaine quantité de fourrage concentré en plus, afin que le taux moyen de l'azote du fourrage ne soit jamais au dessous de 9 g N kg⁻¹ de matière sèche ingérée.

Le taux moyen d'azote dépend des quantités ingérées des différents types de fourrage et de leurs taux d'azote.

Les quantités ingérées de différents types de fourrage dépendent de leurs taux d'azote, des quantités disponibles de ces fourrages et des préférences relatives des animaux.

Il a été remarqué que seulement 30 % de la production ligneuse est disponible aux animaux et que les animaux préfèrent la strate herbacée dix fois plus que la strate ligneuse.

Donc le taux d'azote de la strate herbacée et de la paille du mil sont devenus très bas, si bien que les animaux de ces exploitations, où on ne donne que peu de fourrage concentré, dépendent dans une mesure plus large de la strate ligneuse.

Cependant le taux moyen d'azote des strates herbacée et ligneuse n'est pas nécessairement le taux moyen d'azote du fourrage effectivement ingéré, parce que les animaux sélectionnent les meilleures parties des plantes. Cela veut dire : plus le taux d'azote dans une partie de la plante est bas, moins cette partie est ingérée. Le taux de l'azote du tourteau de coton est de 65 g kg^{-1} .

Tableau 4.13. Les taux d'azote moyens de différents types de fourrage par mois (basés sur [Breman & De Ridder, 1991](#)).

	Taux d'azote ($\text{g N kg}^{-1} \text{ m.s.}$)		
	Strate herbacée	Strate ligneuse	Mil
Janvier	4	10	4
Février	4	10	3
Mars	4	9	3
Avril	4	9	3
Mai	3	9	3
Juin	24	16	-
Juillet	14	16	-
Août	10	17	-
Septembre	8	15,5	10
Octobre	6	14	7
Novembre	4	12	6
Décembre	4	11	5

Tableau 4.14. Le rapport entre le taux d'azote et la partie qui peut être ingérée par un animal (basé sur [Breman & De Ridder, 1991](#)).

Taux d'azote (g kg^{-1})	Pourcentage consommable

7	100
6	75
5	50
4	25
3	0

Pour connaître la disponibilité de la strate herbacée, de la strate ligneuse et des restes du mil, il faut d'abord calculer leurs productions et puis les quantités qui disparaissent chaque mois à cause du pâturage ou des pertes.

Le calcul de la production de la strate herbacée se fait largement comme la production du mil etc., sauf le calcul de la disponibilité de N et de P, comme une partie de ces nutriments est absorbée par la strate ligneuse.

Il a été remarqué que la production annuelle de la strate herbacée est déjà disponible au mois de Juin. A l'aide du nombre d'animaux et de la quantité d'herbe qu'ils consomment en Juin et la quantité perdue, il est possible de calculer la quantité disponible pendant le mois de Juillet etc. Les pertes sont causées par le piétinement et par les feux de brousse. L'effet du piétinement dépend de l'intensité du pâturage et l'effet du feu dépend de la densité de la végétation et la fréquence des feux, qui est évidemment plus élevée pendant la saison sèche.

Contrairement au calcul de la production de la strate herbacée, la production de la strate ligneuse n'est pas déterminée par l'absorption de N et de P : l'absorption de ces éléments est déterminée par la production annuelle de la strate ligneuse ([Breman & De Ridder, 1991](#)). La production ligneuse en une année dépend du recouvrement de la strate ligneuse et de l'infiltration de l'eau. L'infiltration de l'eau détermine le nombre de couches de feuilles. Une couche de feuilles équivaut 1200 kg M.S. ha⁻¹, tandis que la production de fruits y ajoute encore 50 % par couche.

Tableau 4.15. Le rapport entre l'infiltration de l'eau et le nombre de couches de feuilles.

Infiltration (mm an ⁻¹)	Couches
325	2
475	3
625	4
775	5
925	6

Le taux de recouvrement est calculé sur la base de la quantité d'azote qui est stockée dans la strate ligneuse et une quantité maximale qui y serait stockée si toute la superficie devait être couverte par des arbres. Cette quantité maximale est, très arbitrairement, établie à 7000 kg N ha⁻¹.

Au cours de l'année cette quantité d'azote change par l'absorption de l'azote et par les pertes à cause du broutage, des feux, de la coupe de bois et des feuilles et tiges qui tombent.

Le besoin en N et P dépend du taux de recouvrement, du nombre de couches de feuilles et des concentrations de ces éléments dans les feuilles et les fruits.

Cependant, il a été constaté que 60 % du besoin en nutriments de la strate ligneuse proviennent du recyclage de ces éléments qui sont déjà stockés dans les arbres et que 5 kg d'azote et 0,5 kg de phosphore qui sont absorbés par la strate ligneuse proviennent des couches du sol. Ces couches sont hors de portée des racines de la strate herbacée.

Il a été remarqué aussi que toute la production de la strate ligneuse est disponible à partir du mois de Juin. La quantité qui est disponible pendant un mois est déterminée par la quantité consommée par le bétail et par les pertes causées par les feux pendant le mois précédent.

4.3.5. La dynamique au niveau du cercle

Quand on veut explorer les développements sur plusieurs années, la compréhension des développements au niveau ferme ne suffit pas, parce que dans ce cas on ne tient pas compte des effets de l'expansion du terroir cultivé et de la densité croissante des animaux. Ces développements peuvent accélérer les processus de la dégradation des terres.

L'expansion du terroir cultivé dépend du développement du nombre de différents types d'exploitations.

Le nombre de types d'exploitations change dans le temps par :

- *L'immigration*. Il y a des personnes qui s'installent dans le cercle comme cultivateurs. Le nombre d'immigrants dépend :

- du nombre de personnes de la région qui veulent effectivement s'installer comme cultivateur. Ce nombre dépend des revenus actuels des cultivateurs. Lesquels revenus, relativement élevés, attireront des immigrants. Il est constaté aussi que les immigrants établissent des fermes de type A et B.

- de la superficie de bonnes terres (LA1) disponibles pour les immigrants dans le Cercle.

- Des constats, il ressort que plusieurs paysans cessent de cultiver à cause de leur âge avancé. On constate généralement qu'après 30 ans d'entreprise, le paysan prend sa retraite.

- Le nombre d'enfants de cultivateurs qui décident de s'installer comme fermier (succession) dépend du nombre d'enfants par exploitation et surtout du désir de ces enfants pour une telle entreprise. Ce désir dépend des revenus des derniers 5 ans par rapport aux revenus désirés par ces jeunes. C'est un fils qui succède à son père. S'il y a plusieurs fils, ils doivent installer une nouvelle exploitation ailleurs.

Toutefois par manque de moyens, ils doivent se contenter d'un type plus simple que celui de leur père.

- Plusieurs paysans émigrent parce que l'agriculture ne leur assure plus la sécurité alimentaire.

- Beaucoup de paysans changent de type d'exploitation : d'une exploitation du type B vers une exploitation du type C. Il a été remarqué qu'une exploitation ne change pas vers un type plus traditionnel

(par exemple de B vers A).

[Figure 4.8.](#) Les facteurs qui déterminent la disponibilité du fourrage.

Seulement une partie de la superficie est occupée par les exploitations agricoles (superficie cultivée) ; le reste de la superficie est utilisée pour le pâturage (parcours).

Par l'augmentation du nombre de fermes et par l'expansion des fermes, la superficie cultivée augmente aux dépens de la superficie du parcours et le nombre d'animaux augmente aussi de même que la quantité de fourrage requis. Quand la superficie du parcours diminue et que le troupeau s'agrandit, l'intensité de pâturage augmente ce qui peut causer une baisse du niveau de la productivité du parcours. Si les paysans veulent maintenir ou améliorer le niveau de la productivité animale, ils doivent augmenter la production des sous-produits, comme la paille (par l'application du fumier ou de l'engrais) ou augmenter la quantité de fourrage concentré.

4.4. Quelques résultats préliminaires

Bien que le modèle, présenté ci-dessus, soit seulement un modèle préliminaire, quelques résultats sont présentés pour exciter une discussion sur ce modèle.

Les figures montrent l'évolution de quelques variables de 1975 jusqu'à 1990.

La Fig. 4.9 représente l'évolution du nombre total des exploitations sur la base des données statistiques de 1975 et de 1983 à 1988, l'évolution de la totalité des exploitations selon le modèle et l'évolution des nombres de types d'exploitation.

[Figure 4.9.](#) L'évolution des exploitations.

L'augmentation du nombre d'exploitations est due à la croissance démographique et aux revenus qui sont assez élevés pour ne pas encourager l'émigration. Selon le modèle, le nombre d'exploitations du type A diminue parce que leur revenu n'est pas très intéressant et les revenus nets des types de B et de C sont plus élevés (Fig. 4.10), si bien que les paysans B et du type C ne diffèrent pas beaucoup, les nombres d'exploitations du type B augmente plus rapidement que le nombre d'exploitations du type C.

[Figure 4.10.](#) L'évolution des revenus nets.

Le nombre de boeufs par exploitation du type C (Fig. 4.11), augmente très nettement, parce que ces paysans achètent des boeufs quand ils gagnent un revenu qui dépasse le besoin familial. Cette augmentation du troupeau est plus ou moins conforme aux données du Tableau 2.6 et à celles de de Steenhuijsen Piters (1988).

[*Figure 4.11. L'évolution du nombre de boeufs par exploitation du type C.*](#)

La Fig. 4.12 montre l'évolution des superficies des différents types de sol qui font partis du parcours. Selon le modèle la partie de la superficie du sol de bonne qualité dans le parcours approche 0, si bien qu'il n'en reste plus beaucoup pour étendre la superficie cultivée.

[*Figure 4.12. L'évolution des superficies de différents types du sol du parcours.*](#)

Selon le modèle le taux de la matière organique (Fig. 4.13) augmente dans le parcours, que la quantité de la matière organique qui est retournée au sol, est plus élevé dans le parcours que dans les champs, ce qui fait que la diminution du pH est plus forte dans les sols du parcours que dans les champs cultivés (Fig. 4.14).

[*Figure 4.13. L'évolution des taux de matière organique.*](#)

[*Figure 4.14. L'évolution du pH.*](#)

Le modèle montre également que le taux d'azote diminue (Fig. 4.15), ce qui cause une baisse des productivités du mil et du maïs (Fig. 4.16).

[*Figure 4.15. L'évolution de taux d'azote instable.*](#)

[*Figure 4.16. L'évolution des rendements par ha du mil, du maïs et du coton.*](#)

4.5. Références

Berthe, A.L., A. Blokland, S. Bouaré, B. Diallo, M.M. Diarra, C. Geerling, F. Mariko, H. N'Djim, B. Sanogo, 1991. Profil d'environnement Mali-Sud. Etat des ressources naturelles et potentialités de développement. IER/KIT, Bamako/Amsterdam.

Binswanger, H.P. & J. McIntire, 1987. Behavioural and material determinants of production relations in land abundant tropical agriculture. *Economic Development and Cultural Change* 36, 73-99.

Breman, H. & N. de Ridder (eds), 1991. [Manuel sur les pâturages des pays sahéliens](#). Karthala, Paris.

Duivenbooden, N. van, P.A Gosseye & H. van Keulen (Eds), 1991. Competing for limited resources: the case of the fifth Region of Mali. Report 2. CABO, Wageningen & ESPR, Mopti.

Duivenbooden, N. van, 1992. Sustainability in terms of nutrient elements with special reference to West-Africa. Report 160, November 1992, CABO-DLO, Wageningen.

Helyar, K.R. & W.M. Porter, 1989. Soil acidification, its measures and the processes involved. In: Robson (ed): Soil Acidity and plant Growth. Academic Press. Sydney, p. 61-101.

Jansen, L. & S. Diarra, 1992. Mali-Sud, étude diachronique des surfaces agricoles.

Keulen, H. van, & J. Wolf (eds), 1986. Modelling of agricultural production: soil, weather and crops. Pudoc, Wageningen.

Leloup, S. & M. Traoré, 1989. La situation fourragère dans le Sud-Est du Mali (une étude agro-écologique). Institut de l'Economie Rurale, Division de Recherche sur les Systèmes de Production Ruraux, Volet Fonsébougou, Sikasso et Institut Royal des Tropiques, Amsterdam.

Pieri, C.J.M.G., 1992. A future for farming in the West African Savannah. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.

Pol, F. van der, 1992. Soil Mining, an unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin 325. Royal Tropical Institute, Amsterdam.

Roose, E., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest: vingt ans de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 78.

Sanogo, B. & P. Kleene, 1981. Structure et évolution de troupeaux bovins: six études de cas à Fonsébougou (Mali-Sud). DRSPR, IER, Ministère de l'Agriculture, Bamako.

Sement, G., 1980. Etude des effets secondaires de la fertilisation minérale sur le sol dans des systèmes culturaux à base de coton en Côte d'Ivoire. Premiers résultats en matière de correction. Coton et Fibres Tropicaux, 1980, Vol. XXXV, fasc. 2.

Sissoko, K., E.J. Bakker, W. Quak & M.S.M. Touré, 1994. Application de la modélisation aux niveaux "petite région et ferme": Etude de cas du Cercle de Koutiala. Equipe Modélisation des Systèmes PSS/ IER.

Steenhuijsen Pijters, C.B. de, 1988. Système de production et culture attelée en zone Mali-Sud. Volume I. Analyse du système de production agraire du village de Kaniko. Wageningen.

Stroosnijder, L. (à paraître). Modelling the effect of grazing on the soil water balance and the primary production of the Sahel. In: Modelling of Geo-Biosphere Processes.

5. Des actions de pré vulgarisation à des thèmes de recherche : Chronologie des Actions DRSPR dans la zone de Koutiala

Demba KEBE, Yacouba KONE, Toon DEFOER
ESPGRN-Sikasso

5.1. Introduction

Depuis 1984, l'équipe systèmes de production et gestion des ressources naturelles (ESPGRN; ex-DRSPR) a entrepris des activités de pré vulgarisation, dans la zone de Koutiala, à partir des acquis de recherche dans la zone de Fonsébougou. La zone de Koutiala se caractérise par une forte croissance démographique (3,5 % par an) et un accroissement des effectifs animaux avec pour conséquence, une augmentation de la pression sur les ressources naturelles. En terme d'intervention de l'ESPGRN, la zone se confond avec la Zone d'Animation et d'Expansion Rurale (ZAER) de Kaniko dans le secteur de Molobala. Cependant, en raisonnant en terme de zonage agro-écologique, la zone devrait inclure normalement d'autres secteurs de la région CMDT de Koutiala (Voir carte de zonage de la CMDT). La zone bénéficie d'une rente de situation due à un niveau d'encadrement dense et à un niveau élevé des paysans en alphabétisation fonctionnelle. Le niveau de technicité des exploitations y est relativement plus élevé et ces dernières ont une plus grande ouverture aux innovations. La culture attelée bovine et la culture du coton ont contribué à améliorer de façon notable la productivité du système de production dans la zone. Les exploitations mènent des activités de production beaucoup plus orientées vers le marché. Dans la zone, deux marchés importants servent de lieu de transaction entre producteurs, commerçants et consommateurs. Il s'agit des marchés de Koutiala et de Molobala situés à environ une vingtaine de km l'un de l'autre.

Dans cette communication on essaye de retracer la chronologie de ces interventions, la problématique abordée et quelques résultats auxquels on a abouti. D'abord la phase de pré vulgarisation de 1983 à 1988 est traitée de façon succincte. Après, les activités de recherche conduites à partir de 1988 sont présentées. Nous terminons par les perspectives de développement de la zone face à l'évolution de l'environnement socio-économique et institutionnel.

5.2. La période de 1983 à 1988

Durant la période 1983/1988, les interventions de l'ESPGRN dans la zone de Koutiala étaient principalement des activités de pré vulgarisation. On peut distinguer deux types d'activités de pré vulgarisation : celles orientées vers l'amélioration de la méthode de vulgarisation de la CMDT et celles dans le cadre des aménagements anti-érosifs.

5.2.1. Les activités d'amélioration de la méthode de vulgarisation

5.2.1.1. Le conseil de gestion à l'exploitation

Depuis les toutes premières enquêtes de diagnostic (suivi technico-économique) menées par l'équipe à Fonsébougou, il est apparu la nécessité d'améliorer la gestion « des exploitations agricoles. C'est ainsi

qu'un outil Conseil de Gestion de l'Exploitation » a été développé et testé. Il vise à cibler des conseils et thèmes techniques en fonction des problèmes et ressources de l'exploitation.

Le conseil de gestion à l'exploitation a été introduite en pré vulgarisation par l'équipe et la CMDT dans la ZAER de Kaniko, à partir de la campagne 1983/84. A cette époque, la CMDT avait certains acquis en matières d'alphabétisation fonctionnelle et d'organisation du monde rural par le biais des AV. L'outil a été adapté aux néo-alphabètes, paysans alphabétisés en langue bambara, maîtrisant le calcul opératoire et pouvant solutionner de petits problèmes. La méthode est basée sur la typologie des exploitations, qui comprend trois types d'exploitations agricoles (1).

Les néo-alphabètes ayant été formés à la démarche sont capables de faire la typologie de toutes les exploitations du village à partir d'un inventaire des ressources, et de faire un diagnostic d'une exploitation afin de proposer des améliorations. La réalisation de ces propositions fait l'objet d'un suivi pendant la campagne. A la fin de la campagne des séances de restitution des résultats sont organisées pour discuter des écarts entre les plans de campagne prévisionnels et les réalisations. A l'issue de ces discussions de groupes, diverses propositions sont faites par les paysans eux-mêmes.

L'intérêt de cette méthode se situe à deux niveaux :

- 1) d'abord les réunions sont des forums de discussions ouvertes entre les paysans et
- 2) la présence du vulgarisateur en la personne du chef de ZAER stimule le raisonnement technique vers une amélioration de la production et de la productivité.

Ce dernier profite de cette séance de discussions pour véhiculer certains messages techniques en fonction des groupes cibles. C'est à ce niveau que l'accent a été mis sur l'utilisation de la méthode comme un instrument de formation non seulement pour les paysans mais aussi pour les agents de vulgarisation. L'analyse de l'exploitation qui est l'étape la plus importante de la méthode permet désormais aux vulgarisateurs d'aller au-delà des contraintes purement techniques des exploitations agricoles, en prenant en compte les contraintes socio-économiques telles que l'organisation de l'exploitation et la gestion des ressources. La méthode a permis aux chercheurs de découvrir certaines contraintes réelles des exploitations agricoles et d'orienter les autres thèmes de recherche en conséquence.

Après la phase de pré vulgarisation, le conseil de gestion de l'exploitation a été mis en vulgarisation à partir de 1987. L'environnement institutionnel de la zone de Koutiala a favorisé l'extension de la méthode par rapport aux autres régions CMDT ([annexe 1](#)). Les résultats encourageants de cette zone ont amené la CMDT non seulement à l'étendre aux autres régions mais aussi d'en faire par la suite un thème prioritaire de son programme de vulgarisation. L'ESPGRN continue à donner un appui ponctuel pour son adaptation aux changements dans les circonstances des paysans.

Cependant, l'évaluation et l'analyse de l'outil entreprises en 1990 et 1993 (Joldersma, *et al.*, 1991 ;

ESPGRN, 1994) ont relevé quelques faiblesses de l'outil, qui peuvent expliquer le niveau assez faible de son adoption. Ainsi des améliorations ont été proposées et des adaptations de l'actuel outil conseil de gestion à l'exploitation ont été faites avant la campagne 1993/94. A part ces adaptations, une recherche-action est actuellement en cours vers un nouvel outil qui devrait prendre en compte les problèmes autour de la fertilité des sols, de la gestion des troupeaux et mieux visualiser les contributions des femmes (5.3.3.1). Des études spécifiques déjà entamées permettront de définir les indicateurs à utiliser, les normes de référence et options techniques.

5.2.1.2. L'approche village : le conseil de gestion dans les villages non-ZAER

Suite au séminaire DRSPR/CMDT de septembre 1984 et des commissions techniques de mars 1985, pour étendre la méthode du conseil de gestion à des villages autres que ceux des ZAER, des réflexions ont été faites aboutissant aux observations suivantes :

- la méthode du conseil de gestion n'est pas transférable comme telle dans un milieu non alphabétisé ;
- la nécessité s'impose de s'intéresser aux villages ne cultivant pas de coton et où le taux d'équipement des exploitations est faible.

Suite à ce constat l'équipe a développé et expérimenté l'approche village. C'est un outil de vulgarisation agricole destinée à démarrer ou redémarrer les activités d'encadrement dans les villages où les messages de vulgarisation en vigueur ne répondent pas aux préoccupations des agriculteurs, dans les villages qui n'ont jamais été encadrés ou qui ont cessé de l'être. Des séances de formation intensives ont été organisées à l'intention des chefs de secteurs de base de la CMDT et des chefs de ZER (Zone d'Expansion Rurale) sur la méthodologie. Les thèmes les plus couramment traités sont : la sensibilisation, la typologie, l'analyse de l'exploitation, la détermination de la capacité d'endettement des paysans, le calcul de la rentabilité d'un crédit d'équipement et le suivi strict des exploitations. La répartition des villages par région est donnée en [annexe 2](#).

Cette approche a été suivie par le DRSPR pendant deux campagnes. Après la première campagne, une pré-évaluation a permis d'identifier les points forts et les points faibles de l'action. Parmi les points forts, on note surtout la création d'un climat de confiance entre l'encadreur et les paysans, la diversification des messages de vulgarisation en fonction des types de paysans et enfin la méthode amène l'encadreur à s'intéresser aux exploitations non équipées et ne cultivant pas de coton. Parmi les points faibles, on a signalé le caractère trop lourd de la méthode et la difficulté qui découle en l'insérant dans les activités de la CMDT. Ces remarques ont été prises en compte pendant la campagne suivante en réduisant au maximum les réunions au début de la campagne et en formant davantage l'encadrement de la CMDT à la nouvelle démarche. A la fin de la deuxième campagne, une évaluation finale a été faite et qui regroupait non seulement les chercheurs du DRSPR mais aussi les cadres de la CMDT et les paysans des villages suivis. Il a été reconnu que la méthode est un bon outil de vulgarisation qui permet au vulgarisateur d'être à l'écoute des paysans. De plus elle permet le passage d'une vulgarisation diffuse à une vulgarisation diversifiée tenant compte des problèmes spécifiques aux différentes catégories d'exploitation.

Après le retrait du DRSPR, la CMDT a abandonné la méthode pour des raisons qui ne sont pas jusqu'ici très bien connues. Le document élaboré par la CMDT et le DRSPR et qui s'intitule : mémento « approche village » à l'usage des encadreurs a connu une faible diffusion au niveau des agents d'encadrement de la CMDT. On se pose toujours la question si toutefois la lourdeur de la méthodologie qui caractérise cette approche n'a pas ainsi affecté sa chance de survie au sein de la CMDT. Raison de plus pour tenir compte des coûts de diffusion d'une technologie par l'organisme de vulgarisation.

5.2.2. Les activités d'aménagements anti-érosifs

Les activités menées dans le cadre du conseil de gestion ont révélé que le phénomène d'érosion hydrique constitue une des principales contraintes des exploitations agricoles de la zone de Koutiala.

Sur la base des expériences de Fonsébougou, un aménagement anti-érosif fut entamée en 1984 à Kaniko, en collaboration avec la CMDT. L'objectif était de tester une méthode qui permettrait l'introduction rapide des mesures efficaces pour contrôler l'érosion du sol. L'aménagement de Kaniko a comporté deux étapes :

- La mise en place d'un système protecteur en amont des terres de culture. D'une part un dispositif de bandes d'arrêt (trois cordons pierreux), de micro-barrage (multiples seuils en pierres sèches) et de diguettes de protection ont été construites et d'autre part un exutoire naturel a été surcreusé sur une longueur de 880 m.
- Des mesures au niveau des champs, favorisant l'infiltration de l'eau. Il s'agissait principalement de :
 - plantations de haies vives et d'arbres autour des champs ;
 - compartimentation des champs par des haies vives et des bandes enherbées plus ou moins perpendiculairement à la pente ;
 - pratiques culturales telles que les travaux perpendiculaires à la pente, le grattage à sec, le billonnage à sillons cloisonnés ;
 - mise en place des cordons pierreux et de lignes de tiges qui permettent la régénération de la végétation dégradée ;
 - mise en place des soles fourragères pour régénérer la fertilité.

Un accent particulier a été mis sur l'information et la sensibilisation à l'aide d'outil approprié comme les séries GRAAP afin d'obtenir une bonne adhésion des populations aux travaux. En plus les membres de l'AV de Kaniko ont été formés sur les techniques de piquetage des courbes de niveau à l'aide de niveau à eau.

Une année après le démarrage à Kaniko, en 1985, les villages voisins Try I et Try II ont entamé la même démarche et un programme de vulgarisation « lutte anti-érosive » a été proposé à la CMDT, ce qui a résulté dans la création de projet lutte anti-érosive (PLAE; DDRS, actuellement) en 1986.

5.3. La période de 1988 à 1994

La période de 1988 à 1994 fut caractérisée par une réorientation des activités de recherche de la lutte

anti-érosive vers la gestion des ressources naturelles et par des recherches vers une intensification agricole. Cette phase a aussi été marquée par la mise au point d'une base de données appelé Suivi-Evaluation Permanent (SEP).

5.3.1. Le suivi-évaluation permanent (SEP)

Depuis la campagne agricole 1988/89 un dispositif de suivi-évaluation permanent a été mis en place, dont l'objectif général est l'obtention des données socio-économiques, agronomiques et zootechniques de référence, fiables et pouvant être exploitées pour :

- adapter et réorienter des thèmes de recherche ;
- évaluer l'impact des interventions de l'ESPGRN ;
- évaluer l'impact de la politique agricole au niveau micro-économique.

Au niveau d'un échantillon de 30 exploitations par zone, deux types de données sont collectées :

- des références (ou variables) structurelles (âge, surfaces totales, surfaces cultivables, surfaces cultivées, taille du troupeau, équipement etc.) qui permettent la catégorisation des dites exploitations (typologie)

[1].

- des références (ou variables) de fonctionnement (gestion) dont le but essentiel est d'aider dans le conseil des exploitants (intrants, extrants, calendrier agricole, rendements, etc).

En plus de ces références collectées au niveau exploitation, des données exogènes au système sont collectées. Il s'agit notamment des prix au niveau des différents marchés proches des villages et qui servent de lieu de transactions.

5.3.1.1. Quelques résultats

Bien que l'exploitation des données du SEP reste relativement timide, quelques résultats d'analyse sont disponibles sous forme de versions provisoires (Brons *et al.*, 1994 ; Djouara *et al.* , 1993).

Djouara *et al.* (1993) notent qu'à Koutiala du fait de la forte saturation foncière, la logique intensive domine et que les exploitants n'arrivent à améliorer leur performance qu'à travers une amélioration de la production par hectare. Les rendements en coton sont par conséquent meilleurs à Koutiala qu'à Fonsébougou et les doses d'intrants apportées à l'hectare plus élevées. De plus, il est démontré que la logique intensive à Koutiala cohabite avec une logique extensive. Une des explications est que, la saturation de l'espace agro-pastoral fait que les terres de qualité meilleure ont une certaine valeur (coût d'opportunité). Les exploitants qui disposent d'un droit d'usage sur ces terres, ont par conséquent intérêt à les mettre en valeur que de les prêter à d'autres exploitants ou de les laisser en jachères même de courte durée.

Brons *et al.* (1994) font état de la description des systèmes de production au niveau de trois zones (Koutiala, Fonsébougou et Kadiolo).

Les résultats du rapport confirment en terme de productivité de la ressource terre (rendements des cultures), la bonne performance des systèmes à Koutiala par rapport aux zones de Fonsébougou et Kadiolo. Les rendements coton à l'échelle du Mali-Sud ont peu évolué à partir de 1974/75 de l'ordre de 1100 à 1400 kg ha⁻¹ (pour des raisons à la fois agro-technique et socio-économique). Cette moyenne cache naturellement la forte diversité des situations.

Tableau 5.1. Les rendements (kg ha⁻¹) par spéculation (moyenne de plusieurs années).

Spéculations	Koutiala (trois ans)	Fonsébougou	Kadiolo
Coton	1269	1173	1282
Maïs	2147	1363	1148
Sorgho	1073	736	512
Mil	961	525	389
céréales (kg)	1210	1006	814

Source : Brons *et al.*, 1994

Les objectifs et stratégies de production des agro-éleveurs sont en rapport avec la satisfaction des besoins d'autofourniture en céréales et monétaires.

Tableau 5.2. Production céréalière (moyenne de plusieurs années).

	Koutiala (3 ans)	Fonsébougou	Kadiolo
céréales kg personne ⁻¹	380	380	350

Source : Brons *et al.*, 1994

On constate dans tous les cas, que le niveau de production céréalière dépasse les besoins par personne par an qui sont de l'ordre de 300 kg par personne par an pour la région administrative de Sikasso (DNSI, 1990).

Le Tableau 5.3 montre les revenus totaux des exploitations agricoles et la part du coton dans ces revenus.

Tableau 5.3. Revenus totaux en mille Fcfa (moyenne de 5 années, 1988-1992).

	Zone Nord		Zone Sud
	Koutiala (trois ans)	Fonsébougou	Kadiolo

Produit brut du coton	430	855	179
Marge brut du coton	309	573	118
Marge brute toutes culture confondues	631	898	332
% du coton dans la marge brute	45%	61%	37%
Marge brute par personnes (toutes cultures)	39	40	29
Revenus nets estimés (1992)	300	500	150

NB. Produit brut = La production valorisée ; Marge brute = Produit brut - Dépenses variables ; Revenus nets = Marge brute - Dépenses fixes ; La production céréalière est valorisée à partir des prix de marché du mois de Novembre.

Ces résultats sur les revenus totaux montrent le rôle moteur de la culture cotonnière dans les zones de Koutiala et Fonsébougou. En effet, ces résultats cachent le fait que si on avait déduit la part de l'autofourniture céréalière dans la production totale, la part du coton dans le revenu monétaire de l'exploitation serait beaucoup plus élevée. Il est dès lors évident qu'une intensification accrue des systèmes se justifie en vue d'améliorer la productivité de la terre. L'objectif d'amélioration des cultures céréalières est atteint par l'adoption d'une rotation culturale fixe (coton/céréales) sur une grande partie des surfaces cultivées. Dans la zone de Kadiolo, la logique extensive domine compte tenu du fait que la terre n'est pas encore une ressource limitante (du moins quantitativement).

5.3.1.2. Vers une nouvelle démarche

Bien que les analyses rapportées par Djouara et al et Brons et al. soient très valables, elles ne permettent qu'une compréhension partielle des stratégies paysannes et mènent souvent à un nombre d'hypothèses non-expliquées (par exemple?). Dans le souci de trouver une solution à cette faiblesse et d'améliorer en même temps la méthode accélérée de recherche participative (MARP) l'ESPGRN a initié une démarche méthodologique qui combine les points forts des deux approches. Cette démarche débute par une analyse de données du SEP. Les résultats de cette analyse sont vérifiés à travers l'application des outils de la MARP qui peuvent mener à l'élaboration des nouvelles hypothèses et à une nouvelle exploitation du SEP, suivi par une deuxième phase de la MARP (Doucouré *et al.*, 1994). Cette démarche a été testée dans le cadre du diagnostic sur le maïs dans les systèmes de production (voir 5.3.3.2). Elle est actuellement utilisée dans les recherches sur « la gestion des stocks », « le calendrier culturale et les associations villageoises », « le rôle des femmes dans la filière coton », etc.

5.3.2. De la lutte anti-érosive à la gestion des ressources naturelles

[2]

En 1989, les villages de Try et Kaniko, ont fait savoir que leurs efforts pour protéger le terroir ne profitent pas à eux mêmes car d'autres personnes étaient autorisées par le code forestier à utiliser le terroir. C'est ainsi qu'un programme test gestion de terroir (GTV) a démarré dans la zone « SIWAA », regroupant 6 villages voisins (Joldersma *et al.*, 1994). A part la CMDT, la DDRS et l'ESPGRN, les

services techniques travaillant dans la zone sont impliqués dans ce test GTV. L'objectif est d'élaborer et de tester une démarche pour arriver à une meilleure gestion des terroirs par les villageois. Un statut juridique spécial a été négocié auprès de services concernés, ce qui donne aux villageois plus de responsabilité pour la gestion du terroir (Diarra et al., 1994). Il s'agit d'une approche GTV « légère et spécifique » qui comprend plusieurs étapes :

- 1) la mise en place d'un groupe technique ;
- 2) l'identification des villages ;
- 3) la prise de contact ;
- 4) l'information et la sensibilisation ;
- 5) diagnostic global ;
- 6) le diagnostic spécifique (outil diagnostic planification) ;
- 7) la formulation des solutions ;
- 8) la planification et
- 9) le suivi/évaluation (DRSPR, 1993).

L'expérience de SIWAA semble avoir l'adhésion des agro-éleveurs de la zone test. Cependant, une des principales contraintes à la pérennité d'une approche semble être d'ordre économique (Kaya *et al.*, 1994). En effet, les actions d'aménagement mettent très souvent du temps avant que des effets concrets ne soient observables. Il n'est par conséquent pas aisé de garder pour longtemps l'adhésion des acteurs. De plus, le degré d'exploitation des ressources naturelles n'est pas le même partout, les difficultés de concilier les intérêts des différentes communautés villageoises et des individus avec ceux de la communauté intervillageoise font que certaines propositions techniques ou même méthodologique mettent du temps avant de se réaliser. De plus, le renforcement de la capacité villageoise fonction de l'évolution des compétences des ressources humaines et de leur capacité d'organisation, semble être une condition préalable au succès d'une gestion communautaire des ressources naturelles.

5.3.2.1. Outil conseil de gestion de terroir

[3]

A l'image de l'outil conseil de gestion aux exploitations agricoles, un outil de diagnostic-planification appelé « conseil des gestion de terroir » est en cours d'élaboration. Cet outil doit permettre à l'encadrement de faire une analyse quantitative et participative de l'utilisation du terroir. Il s'agit de :

- 1) déterminer des paramètres pour apprécier la situation actuelle ;
- 2) spécifier les normes de référence d'une exploitation durable (qui n'exclut pas la prise en compte de la dimension socio-économique de cette durabilité) ;
- 3) comparer l'utilisation actuelle avec des normes de référence et en cas d'écart ;
- 4) proposer des solutions adéquate. Dans ce cadre, des modules pour le diagnostic/planification des ressources fourragères et ligneuses ont été développées par l'ESPGRN (DRSPR, 1993).

Un des inconvénients de l'outil conseil de gestion de terroir (DRSPR, 1993) est que le diagnostic de la zone sylvo-pastorale se base sur sa classification scientifique en utilisant des paramètres et normes de

références développées par les techniciens. Les méthodes d'estimation de la **capacité de charge** [4] des ressources fourragères par exemple font beaucoup de controverses. Leur pertinence ainsi que leur intérêt ne sont pas toujours perçus par les paysans/éleveurs. La principale contrainte est la difficulté de communication qui limite la participation et l'engagement des paysans dans les actions GTV. L'établissement d'un schéma de gestion devrait se faire à partir d'un diagnostic fait par les paysans/éleveurs eux-mêmes, afin de cibler des actions en fonction des besoins et perception de la population.

Dans ce cadre, l'ESPGRN a entrepris une étude avec la participation des paysans sur la classification et la gestion des unités de la zone sylvo-pastorale. Les outils utilisés sont la carte de terroir, le transect et la « classification préférentielle ». Cette étude a permis d'appréhender les indicateurs de base de la classification des unités de la brousse et les critères de jugement de leur production et potentialité. En plus, les techniques et mesures d'exploitation/gestion et les critères de jugement de l'état de l'exploitation (surexploitation et dégradation), ont pu être déterminées (Bagayogo *et al.*, 1994).

A travers le diagnostic de la classification et gestion de la zone sylvo-pastorale, les paysans sont en mesure de faire un choix raisonné des actions à mener pour une meilleure gestion de bois ou de pâturage. Sur la base des critères paysannes il sera possible d'évaluer l'effet des mesures entreprises.

Suite à l'étude de la classification et gestion de la brousse, une partie du terroir de M'peresso a été choisie par les villageois pour tester la gestion des pâturages à travers une utilisation périodique. Les résultats techniques et la capacité villageoise pour gérer la protection de cette unité font actuellement l'objet d'une recherche. Dans le cadre de la gestion des ressources ligneuse, il est aussi prévu d'entamer prochainement une nouvelle expérimentation de protection d'une partie de la brousse.

5.3.3. Vers une intensification agricole

On appelle « intensification » un accroissement des ressources productives par exemple le travail (intensification par le travail) ou de capital (intensification par le capital) par rapport à celle jugée contraignante (terre en générale). La pression démographique et l'extension des surfaces cultivées font que les jachères sont réduites dans l'espace et le temps. De plus comme déjà annoncé dans la partie introductive, les agriculteurs ont capitalisés dans l'élevage. Investir plus de travail et plus d'intrants (d'origine autofournis comme la fumure organique ou d'origine industrielle comme les engrais minéraux et pesticides) par unité de surface devient une nécessité. Ainsi l'ESPGRN a entrepris plusieurs recherches sur l'intensification agricole et sur l'intégration agriculture-élevage.

D'abord sont traitées les activités de recherche au niveau exploitation, suivi par des activités plutôt à un niveau de champ de culture ou élevage. Certaines des activités sont déjà terminées ou en phase de pré vulgarisation, tandis que d'autres sont encore en pleine phase de recherche.

5.3.3.1. Le niveau exploitation

Rentabilité de la motorisation intermédiaire

Pendant la campagne 1998/89 une étude de rentabilité du tracteur Boyer (28 CV) a été entreprise à travers la comparaison entre les exploitations qui possèdent un tracteur Boyer (28 CV) et des exploitations en culture attelée bovine avancée.

Les résultats de cette étude montrent que :

- la motorisation intermédiaire n'augmente pas la productivité du travail par actif ;
- les rendements de cultures ne sont pas améliorés du fait de la motorisation ;
- la substitution de la main d'oeuvre et des boeufs par le tracteur semble aussi assez faible (sarclage, récolte) ;
- la motorisation se traduit d'une manière générale par un fort accroissement des surfaces cultivées ;
- la motorisation se traduit par une réduction des marges brutes et des revenus nets par actif.

Sur la base de cette recherche, l'ESPGRN déconseille la motorisation intermédiaire.

Le stockage villageois

Dans le souci d'une stabilisation des prix et revenus des paysans et d'une stimulation des investissements productifs dans le processus d'intensification et afin de mettre en place un mécanisme de maîtrise de la commercialisation et de gestion des surplus des céréales au sein des villages, l'ESPGRN et la CMDT ont entrepris une action de stockage villageois dans une dizaine de villages tests dans les régions CMDT de Sikasso et de Koutiala de 1988 à 1991.

Les résultats de la première année attestent que la prise de décision de fixation des prix d'achat n'a pas pris en compte l'environnement économique (situation au niveau des marchés hebdomadaires) ce qui s'est traduit par une vente à perte au niveau des certains villages. Il manque de l'information pour déterminer les prix. Aussi la gestion physique des stocks semble poser problèmes à cause des fissures des greniers. En plus, à cause des problèmes de collaboration, résultant d'une mauvaise gestion financière, les résultats escomptés n'ont pas été atteints (Koné, 1990 ; Djouara, 1990).

Cependant, la non-autosuffisance alimentaire reste un de problèmes clefs en certains endroits de la zone Mali-sud (Kadiolo, Bougouni), qui est surtout un problème de gestion de stock (CMDT, 1993 ; Degrande & Samaké, 1994). Dans ce cadre, l'ESPGRN a entamé une recherche sur la gestion des stocks céréaliers et l'autosuffisance alimentaire (voir aussi 5.3.3.2 - culture de maïs).

Le diagnostic global de l'exploitation

Afin de mieux adapter l'outil conseil de gestion de l'exploitation (voir 5.2.1), l'ESPGRN est en train de développer un nouvel outil de diagnostic/planification de la gestion de l'exploitation. Cet outil doit étendre les domaines touchés par l'ancien conseil de gestion (élevage, activités extra-agricoles) et augmenter la participation des différents membres de l'exploitation. L'outil utilisera davantage des méthodes de recherches participatives comme l'arbre à problèmes, la classification, la carte de

l'exploitation, etc. Il serait prémature de donner des résultats de cette recherche, à l'heure actuelle.

L'outil gestion de la fertilité des sols

Dans le souci d'une meilleure gestion des aptitudes productives de la terre, et une exploitation durable des systèmes de production, l'idée d'un outil conseil de gestion de fertilité est née, à l'image du conseil de gestion de l'exploitation. Depuis 1993, l'ESPGRN est en train de développer et de perfectionner une méthodologie simple de diagnostic/planification relative à la gestion de la fertilité des sols. L'outil doit permettre aux exploitants en collaboration avec l'encadrement

1) d'appréhender l'état actuel et d'analyser les contraintes de la gestion de fertilité des sols au niveau du village et de l'exploitation et

2) de raisonner des décisions à prendre et des actions à entamer en matière de gestion de fertilité des sols en tenant compte des éléments structurels des exploitations et de l'économie rurale (ESPGRN, 1994).

Le diagnostic participatif suit une démarche méthodologique comprenant trois étapes et plusieurs outils visuels. La première étape du diagnostic se fait au niveau village à l'aide de l'élaboration d'une carte de terroir et d'un exercice de catégorisation des exploitations. La deuxième étape est exécutée au niveau exploitation et repose sur un entretien à l'aide d'une carte de l'exploitation. La troisième étape est la restitution au niveau village.

La carte de l'exploitation est actuellement utilisée comme outil de diagnostic/planification. Elle permet d'analyser les stratégies paysannes de gestion de fertilité et d'étudier les flux de produits à l'intérieur et avec l'extérieur de l'exploitation. L'analyse de ces flux permet d'apprécier le niveau d'intégration agriculture-élevage et le niveau d'exploitation des ressources communales et de déceler les pertes de ressources. Tout cela mène à des recommandations d'amélioration. La carte de l'exploitation peut être utilisée comme outil de discussion dans le forum à organiser au début et à la fin de la campagne. La restitution des résultats d'analyse à travers la présentation de la carte (par le paysan) encouragera les autres exploitants à analyser leur propre exploitation pour envisager des mesures semblable.

La carte de l'exploitation pourrait aussi être utilisé comme outil de suivi/évaluation. Les paysans peuvent à intervalles réguliers amender leur carte et évaluer les changements en termes de produits et de flux, suite aux actions entreprises. Cette procédure permet aux paysans et aux chercheurs/développeurs de suivre les changements et le progrès de façon régulière dans le temps en matière de gestion de fertilité (Defoer & Diarra, 1994).

La quantification des productions et des flux de produits, amènera à une évaluation de l'importance de ces flux. Dans le cadre du suivi régulier des changements dans le temps, la quantification permettra de mieux mesurer les effets des améliorations. Ainsi l'évolution de la durabilité du système peut être mesurée en terme de nombre de liaisons entre les différentes entreprises, quantité des productions des différentes entreprises et quantité de produits échangé entre les entreprises et avec l'extérieur.

L'outil gestion des troupeaux

Le rôle premier du bétail au niveau de l'exploitation agricole est surtout, la culture attelée, la production du fumier, comme source d'épargne des revenus coton, la satisfaction des besoins sociaux et économiques. Les bovins sont souvent gérés par les cultivateurs qui ne maîtrisent pas les techniques d'élevage et de conduite des animaux. Le suivi sanitaire des bovins et l'insuffisance de la commercialisation ont conduit à une augmentation du nombre d'animaux et progressivement à la surcharge des parcours. La conséquence de cela est une régression de la productivité animale et la dégradation des parcours.

C'est dans ce cadre, que l'ESPGRN est en train de développer un outil de gestion permettant de faciliter l'intégration des activités d'élevage dans celles de l'exploitation et de conseiller aux propriétaires du bétail de mieux gérer leur noyau d'élevage. Cette gestion devrait prendre en compte la taille du cheptel, les objectifs du paysan la disponibilité de fourrage, la capacité d'achat des intrants et les possibilités de culture fourragère. Dans la zone Siwaa une attention particulière est donnée aux producteurs du lait. En plus, les éleveurs semi-sédentaires font partie de l'échantillon.

Le diagnostic se fait en deux étapes : d'abord en groupe et ensuite en sous-groupe. Après l'hierarchisation des problèmes-clés dans le sous-groupe, un certain nombre d'actions est défini et testé avec les paysans. L'évaluation des actions se fait périodiquement dans les sous-groupes et dans le groupe.

5.3.3.2. Les niveaux champ de culture et élevage

La culture de coton

Suite à un diagnostic agro-technique qui atteste que les rendements coton baissent depuis un certain nombre d'années et dans le but d'identifier les facteurs qui bloquent l'intensification du coton, une étude diagnostique appelée IFBIC a été entreprise. L'étude visait à établir les causes à la fois agrotechnique et socio-économiques de cette baisse de rendement coton constaté au niveau de la zone de Koutiala. L'étude a mobilisé des chercheurs thématiques (AGP, SRCFJ) et des chercheurs du DRSPR (agronomes notamment). Les résultats préliminaires font état de causes à la fois agrotechnique (problème de fertilité, de faible densité) et socio-économique (non respect des doses préconisées et non maîtrise du calendrier cultural) (DRSPR, 1992). Le rapport définitif de cette étude n'est pas encore publié. Il est par conséquent difficile de rendre compte des conclusions majeures et des mesures envisagées.

La culture de maïs

Le maïs est une importante culture céréalière qui renferme des potentialités pour atteindre l'autosuffisance en céréales et qui répond à l'intensification et aux apports d'intrants. Une étude diagnostique sur la culture de maïs dans les systèmes de production a été conduite dans le but de :

- 1) évaluer l'importance de la culture et la variabilité de la gestion de la culture, des stocks, de la

transformation et de la commercialisation ;

- 2) identifier les contraintes de production et les potentialités d'augmenter la production ;
- 3) mieux orienter la recherche et le développement pour la promotion de cette spéculation.

L'analyse des résultats montre qu'il existe une concurrence au niveau du calendrier agricole entre cette spéculation et d'autres cultures notamment le coton, principalement au moment du sarclage et à la récolte. Le striga, l'épandage tardif des engrais et le déficit hydrique, influencé par la texture du sol, le mode de préparation des sols, le cycle des variétés utilisées et la maîtrise de la date de semis, sont des causes des faibles rendements. En plus, la transformation locale de maïs pose problème pour les femmes (Kamara *et al.*, 1994).

Suite à ce diagnostic, plusieurs recherches ont été entamées :

- 1) lutte contre le striga ;
- 2) le calendrier agricole et le rôle des associations ;
- 3) étude variétale de maïs ;
- 4) étude de transformation locale de maïs ;
- 5) la gestion des stocks céréalier et l'autosuffisance alimentaire (voir plus haut).

L'état d'avancement des recherche dans ce domaine ne permet pas de formuler des recommandations pour la (pré)-vulgarisation.

Les cultures fourragères annuelles

La quantité de fourrage de qualité pour le bétail fait largement défaut pendant la saison sèche. Le niébé fourrager qui a été initialement vulgarisé n'a pas répondu aux aspirations escomptées auprès des paysans à cause des contraintes de calendrier agricole. L'association de la dolique avec le maïs est une alternative testé par l'ESPGRN durant plusieurs campagnes. Cette association a l'avantage d'être économe en surfaces. De plus, la dolique a l'avantage de rester en vert après les récoltes des maïs/sorgho. Ceci permet de lever la contrainte rencontrée au niveau du niébé. La culture de dolique en association avec le maïs est actuellement en phase de pré-vulgarisation et reçoit une attention particulière de la part de la vulgarisation.

Les soles fourragères

Pour raccourcir la durée de jachère par une amélioration de la fertilité du sol et en même temps produire du fourrage de qualité, l'ESPGRN en rapport avec le CRZ a introduit sur des jachères de courte durée, des soles fourragères pérennes à base de légumineuses (*Stylosanthes*).

Bien que les résultats techniques soient très intéressants et que la sole fourragère soit en phase de vulgarisation, des problèmes sont à signaler à deux niveaux :

Economique : Le fait que les productions animales soient jusqu'à une période très récente, considérées

comme sous produits des productions végétales (attelage, fumure organique, troc contre la main d'oeuvre) et comme source d'épargne, il n'est pas économiquement intéressant pour l'agro-éleveur d'investir dans ces activités (Kébé, 1993). En effet, dans un modèle de programmation linéaire simple, nous avons pu montrer que l'adoption de ces soles fourragères dépend en grande partie des conditions démo-économiques qui si elles étaient réunies, permettraient une meilleure gestion des productions animales et l'accroissement des effectifs (donc de la fumure organique). L'étude de Bosma *et al.* (1993) atteste aussi que pour un système durable de production, il faut accroître les effectifs animaux au Mali-Sud.

Sociale : De manière traditionnelle, les jachères sont d'une gestion communautaire, il est par conséquent difficile de protéger les dites soles fourragères contre la divagation des animaux, sans une protection adéquate avec du barbelé (environ 200.000 Fcfa par ha avant la dévaluation) ce qui rejoint le point un. Néanmoins, du fait de la disparition progressive des jachères et du fait que les productions animales sont de plus en plus considérées comme des activités productives à part entière au même titre que les productions végétales (embouche bovine, ceinture laitière autour de Koutiala) font que les cultures fourragères ont plus de chance d'être adoptées (les effets positifs de la dévaluation semblent appuyer cette hypothèse).

Utilisation rationnelles des sous-produits

Depuis la campagne 1989/90, l'ESPGRN conduit des tests d'utilisation rationnelle des sous-produits agricoles et agro-industrielles qui visent à tester leur valorisation optimale comme aliments pour le bétail, dans le souci d'arriver à une gestion rationnelle de ces ressources. La supplémentation des animaux à base de ces produits concerne surtout les animaux de trait.

Il est clairement ressorti que l'utilisation des sous-produits n'est pas une activité rentable lorsqu'il y a pas d'autres bénéfices économiques que le gain de poids. Lorsque d'autres aspects tels que l'amélioration de l'état de santé des animaux, et de leur endurance au travail surtout au début de la campagne agricole, sont pris en compte l'activité est rentable. En outre le risque de perdre l'animal est beaucoup réduit. Les paysans remarquent que les animaux tests peuvent travailler jusqu'à deux fois plus que les animaux supplémentés selon leur pratique.

Le prix actuel de l'aliment bétail permet aux paysans de disposer de différentes alternatives pour le conditionnement de ses boeufs : la culture des fourrages, l'utilisation des blocs métocour et l'enrichissement des chaumes avec le prémix. Le bloc et le prémix sont essentiellement composés de tourteaux de coton, mélasse urée, son de riz, du sel et du superphosphate. La réservation de l'aliment bétail pour le début des travaux champêtres est une stratégie beaucoup appréciée par les paysans. Pour une meilleure gestion des fourrages, le paysan peut stocker soit son fourrage dans une bonne grange (voir plus bas), soit ses chaumes hachés dans un grenier. Le bloc métocour et le prémix développé par l'ESPGRN semblent bien appréciés par les agro-éleveurs et leur fabrication dans les unités de production villageoises mérite une attention particulière de la vulgarisation.

Amélioration des techniques de stockage des fanes et fourrages cultivés (Grange)

Pour une meilleure gestion des ressources fourragères récoltées, des granges ont été construites au niveau d'un certain nombre de paysans à Koutiala en vue de mieux protéger les dites fourrages contre les pluies tardives et précoces.

L'objectif est de mettre au point des infrastructures pour le stockage des fourrages, qui permettent de maintenir leur valeur et qui sont économiquement justifiées. D'un point de vue technique, ces granges semblent assez intéressants. Toutefois, leur rentabilité économique reste à établir.

La stabulation saisonnière

La stabulation saisonnière consiste à apporter aux animaux toute la ration alimentaire dans l'enclos pendant la saison sèche et le début de la saison des pluies. Cette ration, composée de chaumes de céréales hachés enrichis d'un prémix contenant les tourteaux de coton, la mélasse, l'urée, le son et des minéraux, permet de conditionner les animaux de traction ou de maintenir mieux les reproductrices et veaux. Ce type de conduite permet aussi, de diminuer les pertes, de produire du fumier et du lait et de protéger l'environnement.

La stabulation saisonnière est en phase de pré-vulgarisation avec la CMDT depuis la campagne 1993/94. L'expérience de Tominian montre que la bonne exécution de la stabulation demande le stockage des chaumes, l'achat d'un prémix et la gestion commune d'un hache-paille, fabriqué par les forgerons locaux. Le bas niveau de cotisations, convenu par les villageois, pourrait indiquer que le prix constitue une barrière pour l'utilisation du hache-paille. Il n'est pas évident qu'une unité motorisée sur un plateau multifonctionnel (projet UNIDO/FIDA, constructeur EMAMA, Sikasso), qui diminue l'effort physique demandé, enlève la barrière du coût.

5.4. Quelles perspectives ?

Au niveau du terroir villageois le souci de satisfaire les besoins d'une population sans cesse croissante suppose une redéfinition des modes gestion et nécessite une nouvelle réglementation dans le domaine des ressources naturelles communales. Les effets de la pression démographique et de l'extension des superficies cultivées, combinés avec un environnement socio-économique peu favorable font que la durabilité des systèmes de production est menacée dans la zone de Koutiala qui se situe au « cœur de la zone cotonnière ».

Les différentes études et activités effectuées par l'ESPGRN attestent toutes la difficulté que peuvent avoir les paysans pour gérer de façon durables leurs ressources naturelles, aussi bien au niveau du terroir (inter)-villageois qu'au niveau exploitation. Bien que les paysans soient de plus en plus conscient de la nécessité du maintien de la fertilité des sols pour garantir leur productivité et prévenir leur dégradation, beaucoup reste à faire.

D'un point de vue agro-technique, ce sont surtout les cultures céréalières (mil/sorgho) qui accentuent la dégradation des sols. En effet les arrières effets des intrants apportés sur le coton en tête de rotation ne semblent pas compenser les exportations. Le défi de la recherche est de trouver des variétés nouvelles adaptées aux contraintes climatiques à forte réponse aux intrants qui se substitueraient à la terre (Kébé, 1993 ; Kébé & Brons 1994). Pour cela le maïs est une culture prometteuse (Kamara *et al.* , 1994) [5].

De telles variétés n'ont de chance d'être adoptées par les agriculteurs, que lorsque l'environnement économique est suffisamment incitatif. Le désengagement de l'état dans la commercialisation des céréales fait que le risque économique est devenu plus important et ne permet plus aux exploitants de faire des anticipations qui encourageraient les investissements productifs.

De plus, la dévaluation du FCFA semble créer des opportunités nouvelles pour les productions animales. Si les organisations paysannes arrivent à s'approprier des retombées de cette opportunité, il est probable qu'à terme, elles puissent changer de mode de conduite et investissent dans les dites productions. Une des conséquences de la modification du système de gestion des espaces agro-pastoraux est l'augmentation de la disponibilité en fumure organique essentielle pour le maintien et la restauration de la fertilité des sols.

Le développement de petites unités de transformations (minoteries, laiteries) est aussi de nature assurer une certaine diversité des sources de revenus pour les agro-éleveurs de la zone de Koutiala.

Rôle de l'ESPGRN

La recherche dans le cadre des tests GTV est à poursuivre afin d'évaluer et d'appuyer le processus vers une gestion collective du terroir, le développement des réglementations par les villageois, l'interaction entre villages et services techniques, etc. Une des questions principales dans ce domaine est « comment accélérer le processus ». Ainsi les réflexions autour des mesures incitatives nécessitent plus d'attention. Dans le souci de l'équité, la recherche en matière de GRN portera aussi sur les voies et moyens pour assurer la prise en compte des intérêts des différentes catégories villageoises (avec une attention particulière sur les intérêts des femmes).

Des recherches sont à poursuivre dans le domaine des bilans quantitatifs comparant la situation actuelle avec les normes de références pour une exploitation durable des ressources naturelles (principalement le bois et les pâturages). L'implication des utilisateurs est indispensable pour assurer l'utilité de tels bilans. Aussi les expérimentations de gestion de pâturage et de bois sont à continuer avec la pleine participation des populations.

Dans le cadre de la durabilité des systèmes de production et l'intégration de l'agriculture-élevage, les activités principales de l'ESPGRN se poursuivront dans le domaine de :

- 1) la gestion de la fertilité des sols ;
- 2) le maïs ;
- 3) la lutte contre le striga ;

- 4) les cultures fourragères ;
- 5) la gestion des troupeaux.

Le fil rouge des recherches de l'ESPGRN est la participation paysanne.

D'un point de vue institutionnel, certaines expériences en cours méritent d'être suivies. Avec la création de la mutuelle des paysans (Kafo Jiginew) en rapport avec le PRMC, des expériences de crédit à la commercialisation et de recherche de marchés aussi bien au niveau national que régional sont en cours. L'institutionnalisation d'un tel système permettra très certainement, de minimiser les risques et de faire des anticipations.

Par anticipation, on peut espérer que l'implication des organisations paysannes (AVs, SYCOV), dans la gestion du crédit et la recherche de débouchés pour les différentes productions peut créer un climat de confiance au niveau des exploitants. Des dispositions législatives et réglementaires doivent être mises en oeuvre dans des zones à forte pression en vue d'une meilleure sécurisation foncière favorable aux investissements nécessaires pour une agriculture et un élevage durable.

5.5. Références

Bagayogo, S., R. Bosma, T. Defoer & S. Diarra, 1994. Participation dans la Classification et la Gestion des Pâturages Naturels. Document ESPGRN ndeg. 94/22, Sikasso.

Brons J., H. Djouara, S. Diarra, S. Bagayoko & I. Dembélé, 1994. Les systèmes de production rurale au Mali-Sud: étude sur les facteurs d'intensification agricole (version provisoire). ESPGRN/Sikasso.

Bosma, R., M. Bengaly & T. Defoer, 1993. Pour un système durable de production : augmenter le bétail. Communication présentée à la conférence internationale organisée par le CIPEA/ILCA : "Elevage et cycle viable des éléments nutritifs dans les systèmes mixtes agriculture-élevage de l'Afrique subsaharienne". 22-26 novembre 1993, Addis Abeba.

Campen, W. van, & M. Sidibé, 1993. Rapport de mission d'appui au Programme de Recherche sur la gestion des Ressources Naturelles. Institut Royal des Tropiques (KIT), Amsterdam.

CMDT/IER/KIT, 1988. Mémento "approche village". Version provisoire.

Coulibaly, N. & R. Jodersma, 1991. Réglementation de l'utilisation des ressources naturelles. Cas des 6 villages de la zone Siwaa de Koutiala. DRSPR, Sikasso.

Defoer, T. & S. Diarra, 1994. Diagnostic Participatif de la Gestion de Fertilité des Sols. Aspects méthodologiques. Document ndeg. 94/20, ESPGRN/Sikasso.

- Diarra, S., T. Hilhorst & N. Coulibaly, 1994. Vers une gestion durable des ressources naturelles. Quelques expériences avec des programmes tests gestion du terroir villageois au Mali-Sud. ESPGRN/Sikasso.
- Djouara H., 1990. Stockage villageois des céréales (10 villages de Sikasso et Koutiala).
- DNSI, 1990. Enquête budget consommation 1988-1989 : résultats. Bamako, MPC, 119 p.
- DNSI, 1991. Enquête budget consommation (1988-1989), analyse préliminaire. Bamako, MPC, 54 p.
- Doucouré, A., T. Defoer, A. Kamara & J. Brons, 1994. Complémentarité entre la Méthode Accélérée de Recherche Participative Thématique et le Diagnostic Formel. Cadre Conceptuel et Expériences en Zone Mali-Sud. Cas de l'étude 'Diagnostic du maïs dans les systèmes de production'. ESPGRN/Sikasso.
- DRSPR, 1993. Approche Gestion de Terroir Villageois. Proposition d'une méthodologie. Document de travail. DRSPR/Sikasso.
- DRSPR, 1984 à 1993. Commission technique sur les systèmes de production rurale: synthèse des résultats de la campagne 1984/85 à 1993/93. DRSPR/Sikasso.
- ESPGRN 1994. Comité technique régional de la Recherche agricole. Synthèse des résultats de la campagne 1993/94. ESPGRN/Sikasso.
- ESPGRN 1994. Amélioration du Conseil de Gestion de l'Exploitation. Rapport d'étape. Document Ndeg. 94/01 ESPGRN/Sikasso.
- ESPGRN 1994. Gestion Paysanne de la Fertilité des Sols. Résultats d'un Diagnostic Rapide. Rapport d'étape. Document 94/23. ESPGRN/Sikasso.
- Jager, E.J., 1988. Le stockage villageois.
- Jager, E.J., 1990. Rapport socio-économique de la motorisation intermédiaire en zone Mali-Sud, 1988-1989.
- Jansen, L. & S. Diarra, 1990. Le Mali-Sud vu "superficiellement" quantification des superficies agricoles et la dégradation par quatre terroirs villageois entre 1952 et 1987. Université Agronomique, Wageningen (NL)/DRSPR, Sikasso/IER, Bamako.
- Joldersma, R., N. Coulibaly & B. Fomba, 1991. Evaluation du transfert d'un message. Le cas du 'Conseil de Gestion'. DRSPR, Sikasso.

Kaya Bocary, 1987. Rapport de stage effectué au DRSPR.

Kébé Demba & Fomba Baba. Le conseil de gestion au stade expérimental.

Kébé D., 1993. Croissance démographique et Intensification agricole au Mali : Modélisation technico-économique des systèmes agraires villageois. Thèse de Doctorat en Agro-économie. Montpellier, ENSAM.

Kébé D. & J. Brons, 1994. Quand le rythme du tam-tam change... Le producteur coton et le développement durable au Mali-sud. Document introductif présenté à la Journée de réflexion organisée par le SNV, Bamako.

Kleene P., Sanogo Bakary & G. Vierstra, 1989. A partir de Fonsébougou. Présentation, objectif et méthodologie du Volet Fonsébougou. IER/KIT.

Koné Yacouba, 1990. Le stockage villageois des céréales : quelques réflexions sur la situation actuelle et les perspectives d'avenir.

Leloup S. & M. Traoré, 1989. La situation fourragère dans le sud-est du Mali: région CMDT de Sikasso et de Koutiala, une étude agro-écologique. Amsterdam, IRRT.

Séminaire IER-CRDI, Sikasso 9-15 Septembre 1984.

Poel, P. van der & B. Kaya, 1992a. Adoption des mesures de lutte anti-érosive par des paysans de villages non-encadrés autour de Kaniko et Try en zone Mali-Sud. DRSPR, Sikasso.

Poel, P. van der & B. Kaya, 1992b. faut-il subventionner les travaux de lutte anti-érosive? Le transport des pierres pour la confection des cordons pierreux à Tominian. DRSPR, Sikasso.

Poel, P. van der & B. Kaya, 1992., 1992c. La régénération de la végétation sur des terrains dénudés. Tests sur les berges du marigot à Kaniko. DRSPR, Sikasso.

5.6. Annexes

Annexe 1 : ZAERs concernées par le conseil de gestion de l'exploitation (1986).

Régions CMDT	ZAER	Villages	exploitations suivies
Bougouni	-	Kotieni	3
Fana	Djébé	Seguéné	3

	Massigui	Massigui	3
San	Tonto	Tonto	3
Sikasso	Sanzana	N'golasso I	5
	Doumanaba	Doumanaba	3
Koutiala	Kaniko	Kaniko	9
		Ngoukan	4
		Try I	2
		Try II	1
	Karangana	Karangana	3
		Sinkolo	2
	Karangouana	Karangouana	2
	Ntossoni	Ntossoni	7
		Bambougou	3

Annexe 2 : Application de l'approche village : répartition des villages par région CMDT.

Villages	Secteurs	Régions CMDT
Doniéna	Sikasso	Sikasso
Kasanso	---	---
Touroumandié	Kléla	---
Maro	---	---
Laminibougou	Sikasso	---
Filima	Koutiala	Koutiala
Mougnan	Yorosso	---
Tiankoro	---	---
Dionkouna	---	---
Kouloumassala	---	---

6. Modélisation des ménages paysans pour une utilisation durable des ressources du terroir : Estimation de l'efficacité

des instruments de prix et du marché

G. Kruseman*, R. Ruben** & H. Hengsdijk*

* Centre de Recherches Agrobiologiques et de Fertilité de Sol (AB-DLO),
P.O. Box 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

** Département d'Economie de Développement, Université Agronomique,
Hollandseweg 1, 6706 KN Wageningen, les Pays-Bas

Résumé

L'approche de modélisation des exploitations présentée dans cet exposé simule les réponses au micro-niveau en intégrant des données biophysiques et socio-économiques. Le corps de l'approche est un modèle de programmation linéaire qui utilise les modules individuels pour spécifier les fonctions objectifs du ménage paysan, les prix, et les systèmes de production. L'approche contient en plus une méthodologie pour peser les objectifs du ménage paysan. Le modèle a été étalonné pour une exploitation typique du cercle de Koutiala au Sud du Mali, c'est-à-dire la famille paysanne, pour calculer l'effet de plusieurs instruments de politique : prix, développement des marchés et changement en options technologiques. Les résultats, mesurés en termes d'élasticités concernant les réponses des fermiers, indiquent le rythme et la direction du processus d'utilisation du terroir par suite de changement de l'environnement socio-économique.

Mots clés : Modèle de ménage paysan, programmation linéaire, utilisation durable du terroir, scénarios politiques, Mali

6.1. Introduction

On fait l'analyse des options d'utilisation du terroir en considérant les niveau hiérarchiques, c'est-à-dire les champs, l'exploitation et la région en tenant compte des interactions entre les variables biophysiques et socio-économiques (Kruseman et al., 1993). Les quantifications des actions réciproques est en termes de « trade-offs » entre variables à la fois dans et entre les niveaux de systèmes.

Dans le cadre de l'analyse intégral d'utilisation durable du terroir, il y a des études distinctes avec de buts différents (Hengsdijk & Kruseman, 1993 ; Rabbinge & van Ittersum, 1994). Dans les études exploratoires ([Veeneklaas et al., 1990](#) ; Rabbinge & Latesteijn, 1992 ; EMS, 1994) on analyse les options à long terme, dans lesquelles l'information technique et biophysique génère en termes de politique de développement des scénarios d'utilisation du terroir dont converge les possibilités techniques, écologiques, agronomiques et macro-économiques à long terme. C'est-à-dire la frontière limitant des options de développement vraisemblables.

En même temps l'analyse faite avec les études de ménages paysans montre les possibilités

institutionnelles et instrumentales influençant la conduite des acteurs au micro niveau. Les ménages paysans décident de l'utilisation du terroir, guidés par leurs buts et aspirations. Les décisions sont structurées par les ressources disponibles, les activités faisables et les contraintes externes biophysiques et socio-économiques. Les modèles de simulation des décisions des ménages paysans (Singh *et al.*, 1986 ; Kruseman *et al.*, 1994b) donnent un aperçu des réponses des ménages aux conditions qui existent.

Le rapport entre les décisions politiques et les réponses des ménages paysans est fonction de l'environnement socio-économique comprenant les marchés, les services et l'infrastructure. On analyse les instruments de politique qui peuvent occasionner des réponses au niveau de l'exploitation ; des réponses qui sont compatibles avec les buts politiques.

L'exposé actuel couvre un approche de modélisation utilisée par l'analyse des réponses des ménages paysans à court et moyen terme. Elle opère des changements d'utilisations de champs et de bétail ainsi que le choix technologique par suite de changements spécifiques dans l'entourage socio-économique avec le but d'aider les décideurs politiques. L'implication de ce but est que les résultats des modélisations doivent tenir compte des études exploratoires faites au niveau régional.

L'étude de cas se réfère au cercle de Koutiala au Sud du Mali. Son objectif intéresse la région et le but le plus important est de ralentir la dégradation du sol tout en garantissant la sécurité alimentaire et la production de coton comme culture monétaire. L'analyse concerne les ménages sédentaires pratiquant les activités de culture et d'élevage. Les résultats présentés dans cet exposé indiquent le rythme et les directions de changements dans la structure de production d'une exploitation typique.

Dans la première partie de l'exposé, on présente l'approche de modélisation, dont les différences les plus importantes par rapport à d'autres approches sont mises en avant en montrant la base empirique. Ensuite on présente brièvement les instruments politiques liés aux buts régionaux. Après, on peut montrer les « trade-offs » entre la durabilité et la sécurité alimentaire pour les instruments sélectionnés en termes d'élasticités calculées avec les résultats du modèle. Ensuite on présentera une discussion sur le modèle et les améliorations qui sont possibles et nécessaires afin d'obtenir des résultats fiables et des outils concernant le but final de cette étude dont l'objectif est de donner un appui certain aux décideurs politiques.

6.2. Le modèle

6.2.1. L'approche de modélisation et structure du modèle

Les ménages ont beaucoup de buts distincts qui sont souvent incompatibles. Selon le postulat de rationalité, ils doivent maximiser leur bien-être en attachant du poids à chaque but, parce qu'ils tiennent compte des critères de production et de consommation à la fois. Les buts du ménage paysan se réfèrent aux revenus (consommation), à la gestion de risque (la sécurité alimentaire à long terme). On peut considérer le but de production en tenant compte de critères sélectionnés de durabilité agro-écologique.

L'approche de modélisation présentée dans cet exposé est une adaptation du modèle de base du ménage paysan présenté par Singh *et al.* (1986). Elle se base aussi sur des travaux antérieurs de Barnum & Squire (1978, 1979a, b). Ce modèle simule les décisions de consommation et de production liées, ce qui implique la maximisation d'une fonction d'utilité soumise aux contraintes de temps et de revenus. La contrainte de revenu suit des activités productives, qui sont modelées en termes de fonction de production (continues). La main-d'oeuvre est comprise dans la fonction d'utilité donc il comprend à la fois des aspects productifs et des aspects de consommation (temps libre) à la fois.

Dans l'approche adaptée de modélisation des ménages paysans, les décisions optimales sont modelées avec la programmation linéaire au lieu d'une fonction continue de production. Car les activités productives sont décrites en termes de paquets technologiques, c'est-à-dire le résultat des actions de productions utilisant des intrants nécessaires pour obtenir des extrants désirables. Les fonctions continues de productions ne peuvent pas suffisamment expliquer les changements technologiques. Pourtant la programmation linéaire simple donne des solutions optimales pour le seul but spécifié.

Les actions réciproques entre les domaines socio-économique et biophysique et entre les niveaux hiérarchiques, d'autre part sont tellement complexes, qu'il est nécessaire d'utiliser une approche modulaire en facilitant l'analyse globale (Hengsdijk & Kruseman, 1993). Cette approche modulaire aide dans le cas des circonstances plus fréquentes, quand il n'y a pas le même degré de plénitude dans les données, que lorsque la plupart sont bien limités.

Dans la Fig. 6.1 la structure du modèle est présentée. D'abord le modèle calcule l'optimum pour chaque fonction objectif en utilisant des données générées dans les différents modules. Dans la démarche suivante, en utilisant les poids des buts, on simule les décisions sur la structure de production.

Figure 6.1. La structure du modèle.

Les paramètres pour la fonction objectif se réfèrent à l'utilité de consommation définie dans le module budgétaire. Ils se réfèrent aussi à la gestion des ressources du terroir déjà définis dans le module des systèmes de production. Le but de gestion de risque est lié à la quantité d'animaux disponibles, comme le bétail est la forme prédominante d'épargne dans le Sahel.

Jusqu'en 1987/88 les prix agricoles sont fixés d'avance, depuis cette année il y a eut la libéralisation des prix qui dépendent de l'offre et de la demande. Dans le module des prix on calcule les prix d'attentes et les coûts de transaction. Le module des systèmes de production calcule les paramètres des activités d'utilisation du terroir. Ce module génère les coefficients d'intrants et d'extrants, qui incluent les indicateurs indispensables à l'évaluation de la durabilité agro-écologique.

On a développé plusieurs stratifications des exploitations (de Steenhuijsen Piters, 1990 ; DRSPR, 1993a). Les données sur les ressources de l'exploitation typique proviennent d'une étude (Salverda, 1994) faite à base du suivi évaluation fait par le DRSPR (1993b). Les contraintes institutionnelles et d'information additionnelle nécessaires pour définir le fondement des ressources proviennent de

l'analyse régionale. Tandis qu'il manque les marchés des facteurs de productions, ils ne sont pas inclus complètement dans le modèle, comme il y a seulement la possibilité d'obtenir le crédit lié à la production monétaire.

Dans les sections suivantes sont présentées les modules différents :

- 1) le module budgétaire ;
- 2) le module des prix ;
- 3) le module des activités productives ;
- 4) le module de stratification des exploitations ;
- 5) le générateur des poids de buts.

6.2.2. Module budgétaire

La fonction d'utilité de consommation est définie avec l'analyse du budget familial. Pour toutes les catégories de produits c , on peut caractériser l'utilité dérivée de la consommation (soit en termes physiques, soit monétaires), avec les fonctions suivantes :

$$U_c = f(C_c) \text{ (équation 6.1)}$$

où

$$U_c = f(C_c * p_c) \text{ (équation 6.2)}$$

où

U_c = utilité de consommation de produit c ;
 p_c = prix de produit c ;
 C_c = consommation de produit c .

Le postulat selon lequel les utilités partielles son additives admet le calcul de l'utilité totale :

$$\max U = \sum_{c=1}^n U_c \text{ (équation 6.3)}$$

Si le ménage essaye de maximiser l'utilité totale (U_{\max}), dans la situation équilibrée, étant donné la contrainte budgétaire, chaque changement dans la distribution des dépenses optimales abaisse cette utilité totale. C'est-à-dire, l'utilité marginale des dépenses sur le produit est égal pour tous, étant donné le niveau des dépenses totales. Pour chaque niveau de revenus, il y a un coefficient d'utilité marginale unique (M):

$$\frac{\partial U_c}{\partial C_c} = \beta_c \quad (\text{équation 6.4})$$

Il est possible d'estimer toutes les fonctions d'utilité s'il y a au moins pour deux produits des fonctions d'utilité avec la forme exponentielle négative, décrit par Kruseman et al. (1994b) fondé sur la fonction d'utilité de richesse utilisé par Anderson et al. (1977) dans l'analyse de risque. La forme fonctionnelle qui a des propriétés asymptotiques permet de laisser, postuler un niveau de dépenses où l'utilité maximale est presque atteinte, donc il est possible d'estimer le facteur de conversion de consommation à l'utilité et ensuite toute la fonction :

$$U_c = U_c^{\max} * (1 - e^{-\alpha_c^U * C_c * p_c}) \quad (\text{équation 6.5})$$

et

$$\frac{\partial U_c}{\partial C_c} = \beta_c = \alpha_c^U * U_c^{\max} * e^{-\alpha_c^U * (C_c * p_c)} \quad (\text{équation 6.6})$$

où

U_c^{\max} = utilité maximale de consommation de produite c ;

β_c = utilité marginal ;

α_c^U = facteur de conversion de consommation à l'utilité.

En tenant β_c pour tous ces niveaux de dépense totalement différentes, il est possible de calculer les fonctions d'utilité qui ont des formes distinctes, lesquelles, par simplicité, tiennent la forme hypothétique suivante :

$$U_c = \beta_c^{\frac{1}{\gamma_c^U}} * C_c^{\gamma_c^U} \quad (\text{équation 6.7})$$

et

$$\beta_c = \beta_c^{\frac{1}{\gamma_c^U}} * \gamma_c^U * (C_c * p_c)^{(\gamma_c^U - 1)} \quad (\text{équation 6.8})$$

où

β_c^U = facteur de conversion de consommation à l'utilité ;

x_c^U = consommation de produit i ou temps libre.

Les paramètres des fonctions d'utilité sont estimés avec une enquête de budget de consommation (DNSI, 1989). Pourtant, souvent il est possible de déterminer les élasticités prix de la demande en utilisant des sources externes (Tsakok, 1992). En utilisant un budget hypothétique dans le calcul de l'utilité, il est possible d'incorporer ces élasticités. Soit que l'emploi du prix de l'année de base résulte dans une élasticité zéro, soit que l'emploi du prix courant résulte dans une élasticité de valeur 1. En utilisant la contrainte de combinaison convexe (Hazell & Norton, 1986), il est possible de linéariser les fonctions.

6.2.3. Module des prix

Dans les modèles de réponse de l'offre le fondement principal est l'existence d'un rapport entre les prix et le volume de production qui dépend des élasticités relatives de l'offre et de la demande. Au début du cycle agricole le fermier doit prendre ses décisions sur la base du prix d'attente.

Si les prix sont connus d'avance, par exemple il y a des prix fixés par l'état, ces prix sont les prix d'attente. Pourtant dans le cas du marché libre, les prix d'attente peuvent être considérés comme la moyenne des prix passés chargés de poids. Quoique des systèmes compliqués aient été développés pour estimer ces poids, pour le moment le prix d'attente est défini comme :

$$p_t^e = \beta_1^e * p_{t-1} + \beta_2^e * p_{t-2} + \beta_3^e * p_{t-3} \text{ (équation 6.9)}$$

avec

$$\beta_1^e + \beta_2^e + \beta_3^e = 1 \text{ (équation 6.10)}$$

où

p_t^e = prix d'attente en période t ;

β_1^e = coefficient d'attente.

On a donné aux coefficients d'attente les valeurs de 0,5, 0,25 et 0,25 respectivement. L'usage de valeurs qui sont un peu différentes ne changent pas du tout les prix d'attente à long terme.

Dans la région sahélienne, avec une infrastructure peu développée, et une faible intégration des ménages paysans au marché, les coûts de transaction jouent un rôle très important (Goetz, 1992). Les deux composantes principales des coûts de transactions sont les coûts de transport et d'information. Les coûts de transport peuvent être calculés sur la base de la différence entre le prix au niveau producteur et le prix au niveau du marché.

En utilisant à la fois l'analyse de différence des prix courants et l'analyse hédoniste des prix (Griliches, 1964 ; Rosen, 1974 ; Lucas, 1975) on peut conclure que les prix au niveau de producteur sont 12% plus bas que ceux au niveau du marché. L'analyse hédoniste indique qu'il y a des différences significatives entre des saisons. Bien que les différences saisonnières ne sont pas incluses dans le modèle, ils peuvent tenir une influence importante sur les revenus dans le cas où les fermiers doivent vendre ses récoltes directement pour s'acquitter des prêts.

6.2.4. Module des systèmes de production

Dans l'analyse des décisions de production, les choix technologiques sont nécessaires pour évaluer la durabilité agro-écologique. Les fonctions continues de production standardisées, utilisées par les économistes, ne suffisent pas, parce qu'ils ne tiennent aucun compte des propriétés synergiques des intrants agricoles (de Wit, 1992). Les technologies appliquées doivent être des combinaisons équilibrées des intrants comme l'eau, les engrais, les herbicides, la main-d'oeuvre et l'équipement. La programmation linéaire est la modélisation du choix entre paquets technologiques, c'est-à-dire les systèmes de production qui sont définis en termes d'intrants qu'exigent la production de certains extrants.

Les systèmes de production de culture dans le modèle se réfèrent aux systèmes actuels et encore aux systèmes alternatifs pour les cultures de coton, mil, niébé, sorgho, arachide et maïs. En outre, il y a des systèmes de production de bétail, déterminés pour le troupeau, les boeufs de labour et les petits ruminants (ovins et caprins). Le dernier type de système se réfère au parcours (Hengsdijk et al., 1994).

La définition des systèmes de production de cultures actuels est basée sur le suivi évaluation (DRSPR, 1993b), sources secondaires (van Duivenbooden et al., 1990) et modèles de simulation, tandis que les systèmes alternatives se basent sur des modèles de simulation de croissance des plantes et connaissance d'experts (EMS, 1994). La différence primaire entre les systèmes actuels et alternatifs est que les systèmes alternatifs ont un bilan de carbone équilibré, tandis que les systèmes actuels (qui ne sont pas toujours durables) ont souvent un bilan négatif. Les systèmes de production de cultures sont définis, avec cinq autres variables. D'abord il y a le type de sol, avec quatre types qui couvrent les principaux sols de la région. En deuxième lieu il y a les niveaux de production, qui comprennent les classes extensives, semi-intensives et intensives. En troisième lieu il y a la forme d'utilisation des résidus de culture, soit comme fourrage pour le bétail, soit comme source de matière organique pour le bilan de carbone. En quatrième lieu il y a l'existence ou non d'infrastructure de lutte anti-ruissellement et en dernier lieu il y a le type d'année normale ou sèche (EMS, 1994).

La définition des systèmes de production animale dépend du type d'animal. Concernant le niveau

d'alimentation il est lié au niveau de croissance des animaux et détermine les stratégies de vente (Ketelaars, 1993).

La durabilité du système est mesurée en termes de bilan de carbone à cause du rapport entre le taux de recouvrement des éléments nutritifs (N, P, K) et le contenu en matière organique dans le sol.

6.2.5. Module de stratifications des exploitations

Au Mali, dans la tradition de recherche économique et la recherche de systèmes de fermes, la typologie des exploitations se définit seulement sur la base de ressources disponibles, souvent en termes de terroir disponible rapport de ressources humaines aux ressources de terroir (Leesberg et al., 1990). Au Sud du Mali les stratifications utilisent aussi la disponibilité de traction animale (ressources de capital) (de Steenhuijsen Piters, 1990 ; DRSPR, 1993a ; van der Pol, 1993). Il y a un autre mode de stratifier les exploitations, non seulement en termes de ressources, mais en termes des buts de ménage paysan (Kruseman et al., 1994a). Les exploitations typiques ont des buts totalement différents ou les poids des buts sont différents. Le postulat principal est que les buts du ménage et ses poids sont stables au cours du temps.

La combinaison des ressources disponibles et fonction objectif avec les poids de buts correspondants, détermine la structure de production, étant donné les circonstances socio-économiques et biophysiques externes. En utilisant l'analyse des facteurs pour déterminer les sources de variation en structure de production et ressources disponibles, il est possible d'éprouver l'hypothèse qu'un ensemble d'exploitations appartient à plus qu'un type d'exploitation. Des 31 exploitations incluses dans le suivi évaluation du DRSPR, utilisé dans l'analyse présente, seulement trois exploitations ne répondaient pas au critère pour être incluses dans l'exploitation typique.

On peut caractériser cette exploitation typique comme une exploitation de 13 hectares de superficies cultivées, 14 têtes de troupeau, 4,5 boeuf de labour, 9 têtes de petits ruminants (ovins et caprins), 18 membres de famille, équipement agricole complet ou presque complet.

6.2.6. Générateur des poids de buts

Tandis qu'il est presque impossible de tirer les buts en forme directe, il est possible à base théorique de postuler une quantité de buts tentatives ($G_1 \dots G_q$). Pour définir l'importance relative de chaque but, on peut formuler un procédé de programmation de buts chargé de poids, dont w_q est le poids relatif de chaque but (Romero, 1993). Puisque les buts se réfèrent au concept distinct, souvent mesurés avec des indicateurs incompatibles, on ne peut pas faire l'addition des buts. Les poids indiquent l'importance relative de « trade-offs » entre buts différents. La matrice des paiements pour un type d'exploitation comprend les équations suivantes :

$$\begin{bmatrix} G_{11} & \dots & G_{1q} \\ \dots & & \dots \\ G_{q1} & \dots & G_{qq} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \dots \\ \omega_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 \\ \dots \\ G_q \end{bmatrix} \quad (\text{équation 6.11})$$

où

G_{qq} = valeur de but i soumis au maximisation de but j ;

ω_i = poids relative de but i,

avec

$$\sum_{q=1}^q \omega_q = 1 \quad (\text{équation 6.12})$$

Etant donné 1) un ensemble d'activités et contraintes et 2) un ensemble de buts, il est possible de calculer les valeurs de but soumis à l'assomption de l'optimisation partielle. Le résultat est la matrice [Gqq]calc dans laquelle Gqq représente les valeurs des indicateurs i soumis à l'optimisation des buts j. On peut confronter cette matrice de résultats du modèle avec des données empiriques.

Tandis qu'il est possible de définir des variables pour mesurer les valeurs des indicateurs des buts au niveau du modèle, souvent c'est presque impossible de les quantifier en utilisant des données empiriques. L'approche alternative pour déterminer les poids de buts développés dans cette étude comprend l'utilisation des variables dérivées, qui réfèrent un rapport à un ou plusieurs buts. Ces variables doivent être empiriquement vérifiables aussi bien que calculables avec le modèle.

$$\begin{bmatrix} V_{11}^{calc} & \dots & V_{1q}^{calc} \\ \dots & & \dots \\ V_{n1}^{calc} & \dots & V_{nq}^{calc} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \hat{\omega}_1 \\ \dots \\ \hat{\omega}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1^{ac} \\ \dots \\ v_n^{ac} \end{bmatrix} \quad (\text{équation 6.13})$$

où

V_{nq}^{calc} = valeur de variable n soumis au maximisation de but q ;

V_n^{act} = valeur empirique de variable n ;

\hat{w}_q = poids de but q.

Une démarche cruciale est la définition des buts. Ils doivent être autant indépendants que possible, pour prévenir l'occurrence de multicollinéarité. Dans le cas du modèle d'exploitation du Cercle de Koutiala, on définit trois buts tentatifs :

- 1) maximisation de l'utilité de consommation ;
- 2) durabilité en termes de bilan de carbone ;
- 3) assurance contre la sécheresse en termes de quantité de têtes de bétail.

Ces buts sont suffisamment indépendants et mesurés en unités distinctes.

Les variables utilisées étaient :

- 1) taille de troupeau ;
- 2) nombre de têtes de petits ruminants ;
- 3) superficie de coton ;
- 4) superficie de céréales ;
- 5) superficie de grains légumineux ;
- 6) superficie de jachère.

On a calculé les poids des trois buts comme 0,9 pour l'utilité de consommation et 0,1 pour la durabilité. L'assurance contre le risque n'avait pas de poids significatif. D'abord on peut dire que l'assurance se mesure en termes de changement des ressources de bétail, tandis que l'information disponible, dans cette étude, traite seulement une année. En deuxième lieu on peut postuler que les ménages font les investissements (en bétail) avec le surplus sur les revenus attendus. Le modèle simule la structure de production à base d'attentes, qui implique l'absence de surplus pour investir.

6.3. Instruments de politique

Le but régional principal dans cette étude est en rapport avec la durabilité agro-écologique. Ce but a des charges contre des buts socio-économiques comme l'excédent d'exportation et la sécurité alimentaire. Ces buts régionaux peuvent être considérés au niveau de l'exploitation comme des indicateurs tels : le bilan de carbone en cas de durabilité ; la production de coton en cas d'excédent d'exportation ; et la production céréalière en cas de sécurité alimentaire.

Les instruments de politique pour influencer les décisions des ménages paysans concernant l'utilisation du terroir, de telle sorte qu'on peut atteindre les buts régionaux qui sont les instruments de prix, de développement des marchés et la politique technologique. Les instruments de prix se réfèrent à l'utilisation des subventions et impôts pour changer les prix d'intrants et produits agricoles. L'instrument de développement des marchés se réfère pour la plupart du temps aux changements dans les possibilités d'obtenir des intrants et des facteurs de production hors de l'exploitation. Quant à l'instrument de

politique technologique, il se réfère à l'accroissement de la disponibilité de techniques nouvelles.

6.4. Elasticités et réponses

On définit l'élasticité comme des raisons, qui sont validés pour un changement de prix jusqu'à 15 % dans chaque direction. Pour des changements plus grands, qui n'existent presque jamais en politique déterminée, mais qui existent à cause des facteurs externes, les valeurs des élasticités changent à cause des marchés unis.

Les réponses se réfèrent au changement en politique de marché ou en politique technologique, c'est dans ce cas qu'on ne mesure pas les réponses en termes d'élasticités.

Les changements de la structure de production se mesurent à partir du résultat sans aucun changement politique (situation de base). Pour les scénarios de politique les poids de buts au niveau d'exploitation ne change jamais parce qu'on postule les préférences stables à court et moyen terme.

Les élasticités se définissent comme :

$$\varepsilon_{X_i}^{p_j} = \frac{dX_i}{dp_j} * \frac{p_j}{X_i} = \left(\frac{\partial X_i}{\partial p_j} + \frac{\partial X_i}{\partial U} + \frac{\partial U}{\partial p_j} \right) * \frac{p_j}{X_i} \quad (\text{équation 6.14})$$

où

X_i = indicateurs : revenus, superficie, utilité, bilan de carbone, bétail ;

U = Utilité de consommation ;

p_j = prix : engrais, coton ;

$\varepsilon_{X_i}^{p_j}$ = élasticité d'indicateur i au prix j.

Le Tableau 6.1 montre les élasticités et l'effet du changement des prix des engrais et coton pour quelques indicateurs sélectionnés.

Tableau 6.1. Elasticités calculées à base des résultats du modèle en utilisant seulement les systèmes de production actuels et en analysant changements marginaux pour les prix d'engrais et du coton.

	situation actuel	prix des engrais	prix de coton	prix des engrais	prix de coton
--	---------------------	---------------------	---------------	---------------------	---------------

		-5%	+5%	Elasticité	Elasticité
Revenues (Fcfa)	1902984	1907573	1959886	-0,06	0,61
Bilan de carbone (kg ha ⁻¹)	-1388	-1388	-1387	0,00	-0,01
Bilan d'azote (kg ha ⁻¹)	-64	-65	-65	-0,02	0,05
Coton (ha)	4,25	4,26	4,26	-0,01	0,03
Céréales (ha)	5,60	5,65	5,76	-0,12	0,32
Grains légumineuses (ha)	2,05	2,00	1,90	0,31	-0,83
Jachère (ha)	0,86	0,86	0,85	0,05	-0,25
Troupeau (numéro)	13,80	13,80		0,00	-0,07
Boeuf de labour (numéro)	4,45	4,45	4,45	0,00	0,00
Ovins et caprins (numéro)	7,28			1,02	-1,58

Les changements des prix n'affectent pas beaucoup la structure de production, donc la durabilité des systèmes non plus. Ce résultat est à jour avec d'autres résultats des études sahéniennes (Goetz, 1992 ; Debrah & Sissoko, 1990 ; Budd, 1993) dans lesquelles on trouve une faible intégration des paysans au marché. Quant au coton, la culture de rente de la région, on voit qu'il n'y a pas beaucoup de possibilités d'agrandir la superficie à cause des exigences de rotation (1:3).

Dans le Tableau 6.2 on voit l'effet de l'introduction de la technologie durable, par exemple à cause de la vulgarisation, qui mène aux changements marginaux de la structure de production. L'augmentation des revenus de 5 % n'est pas très grande, parce que les ménages paysans ne changent guère leur systèmes de production. Seulement dans le cas des graines légumineuses il y a des possibilités.

Il y a des contraintes importantes pour l'introduction de technologie durable. Pour identifier ces contraintes, on fait marcher le modèle sans limiter les accès au crédit, c'est-à-dire, qu'il est possible pour les paysans d'acheter leurs besoins en équipement et animaux. Comme résultat les revenus augmentent et un système plus durable au niveau d'exploitation est possible. Le problème principal avec de ce scénario est le fait que les systèmes de parcours ne sont pas définis d'une manière durable, c'est-à-dire que tous les résultats positives mènent à une dégradation accélérée du terroir commun. Pour toutes les cultures on adopte des systèmes alternatifs.

Tableau 6.2. Réactions hypothétiques à l'introduction de technologie durable.

	Situation actuelle	Situation alternative	Réaction
Revenues (Fcfa)	1902984	1996412	0,05
Bilan de carbone (kg ha ⁻¹)	-1388	-998	-0,28

Bilan d'azote (kg ha ⁻¹)	-64	-37	-0,43
Bilan de phosphate (kg ha ⁻¹)	-3	5	-2,78
Bilan de potasse (kg ha ⁻¹)	-34	-22	-0,35
Coton (ha)	4,25	4,24	0,00
Céréales (ha)	5,60	4,95	-0,12
Grains légumineuses (ha)	2,05	2,95	0,43
Jachère (ha)	0,86	0,63	-0,27
Troupeau (numéro)	13,80	14,34	0,04
Boeuf de labour (numéro)	4,45	4,45	0,00
Ovins et caprins (numéro)	7,28	7,87	0,08

6.5. Discussion et conclusions

Le modèle présenté dans cet exposé est en train d'être développé, c'est-à-dire qu'il manque à ce moment certaines composantes pour pouvoir analyser tous les effets avec confiance. Dans cette discussion nous proposons quelques changements pour apporter des améliorations au modèle.

En ce qui concerne les coefficients techniques des systèmes de production, il y a quelques remarques à faire. D'abord il est nécessaire de définir avec plus de précision les systèmes de parcours actuels et alternatifs. En deuxième lieu il faut définir des menus alternatifs pour le bétail qui utilisent plus de cultures fourragères pour diminuer la pression sur les parcours. En troisième lieu il est nécessaire de mieux définir les sources de matière organique utilisée par les ménages dans les cultures, c'est-à-dire qu'en plus du fumier, on utilise par exemple le compost des ordures et paille de maïs.

En ce qui concerne le module budgétaire, il faut englober dans l'analyse l'utilité de temps libre. C'est-à-dire qu'on a besoin de donner l'utilisation de main-d'oeuvre en rapport avec les revenus du ménage.

Pour évaluer l'effet de l'amélioration à l'infrastructure, il faut analyser avec une meilleure précision les coûts concernant les transactions incluses dans le module des prix. De même, on n'a pas encore inclus complètement l'information externe disponible au sujet des élasticités de la demande.

Quant à la typologie des exploitations, il faut englober plusieurs types de ménages paysans. On peut penser aux ménages qui sont moins équipés et aux ménages bergers.

En ce qui concerne le générateur des poids de buts on a déjà remarqué qu'il est nécessaire d'avoir des séries de temps pour estimer le poids du but en rapport avec l'assurance contre le risque. D'autres buts surgiraient d'une analyse plus profonde.

En ce qui concerne le modèle de programmation linéaire, l'inclusion de consommation saisonnière permettra l'analyse de stratégies alimentaires ménagères.

De toute façon, l'approche de modélisation d'exploitations présentée dans cet exposé, malgré les remarques faites, offre une méthodologie pour mieux comprendre le rythme et la direction du développement.

6.6. Références

Anderson, J.R., J.L. Dillon & J.B. Hardaker, 1977. Agricultural decision analysis, Iowa State University Press, Ames.

Barnum, H.N. & L. Squire, 1978. Technology and relative economic efficiency, Oxford economic papers 30, 181-198.

Barnum, H.N. & L. Squire, 1979a. A model of an agricultural household: theory and evidence, World Bank/ John Hopkins University press, Baltimore, 107 pp.

Barnum, H.N. & L. Squire, 1979b. An econometric application of the theory of the farm household. Journal of development economics 6, 79-102.

Budd, J.W., 1993. Changing food prices and rural welfare: a non-parametric examination of the Côte d'Ivoire. Economic Development and cultural change 41, 587-603.

Debrah, S. & K. Sissoko, 1990. Sources and transfers of cash income in the rural economy: the case of small holder mixed farms in the semi-arid zone of Mali, ALPAN, network paper no. 25, ILCA, Adis Abeba, p. 11.

DNSI, 1989. Etude de budget consommation, DNSI, Bamako.

DRSPR 1993a. Suivi-evaluation 1992-1993, base de dates interne DRSPR, Sikasso.

DRSPR 1993b. Compte rendu DRSPR/EMS-PSS 14.07.93, Sikasso.

Duivenbooden, N. van, R.A. Gosseye & H. van Keulen, 1990. Competing for limited resources: the case of the fifth region in Mali, report no. 2, CABO-DLO et ESPR, CABO, Wageningen.

EMS, 1994. Modélisation et politique de développement: perspectives d'un développement agricole durable, cas du Cercle de Koutiala, exposé présenté au atelier EMS projet PSS, Niono 18-20 septembre 1994.

- Hazell, P.B.R. & R.D. Norton, 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. MacMillan Publishing company, New York, 400 pp.
- Hengsdijk, H. & G. Kruseman, 1993. Operationalizing the DLV program: an integrated agro-economic and agro-ecological approach to a methodology for analysis of sustainable land use and regional agricultural policy, DLV report no.1, Wageningen, 107 pp.
- Hengsdijk, H., W. Quak & M. Touré, 1994. Production activities generator, DLV report no. 5, Wageningen, forthcoming.
- Goetz, S.J., 1992. A selectivity model of household food marketing behaviour in Sub-Saharan Africa. American Journal of Agricultural Economics 64, 444-452.
- Griliches, Z., 1964. Notes on the measurement of price and quality changes. In: Models of income determination, studies in Income and wealth. Vol. 28, p. 301-404.
- Ketelaars, J., 1993. Input-output coefficients for livestock activities. Document interne, AB-DLO, Wageningen.
- Kruseman, G., H. Hengsdijk & R. Ruben, 1993. Disentangling the concept of sustainability: Conceptual definitions, analytical framework and operational techniques regarding sustainable land use, DLV report no. 2, Wageningen, 61 pp.
- Kruseman, G., R. Ruben & H. Hengsdijk, 1994a. Agrarian structure and land use in the Atlantic Zone of Costa Rica, DLV report no. 3, Wageningen, 106 pp.
- Kruseman, G., R. Ruben, H. Hengsdijk & M. van Ittersum, 1994b. Farm household modelling for policy scenarios on sustainable land use, Netherlands journal of agricultural science (forthcoming).
- Leesberg, J., M. Kalé Sanogo, O. Diallo, 1990. La recherche sur les systèmes de production à l'office du Niger, ARPON, Niono, p. 38.
- Lucas, R.E.B., 1975. Hedonic price functions, Economic Inquiry 13, 157-178.
- Pol, F. van der, 1993. Profits de l'intensification, document interne, KIT, Amsterdam.
- Rabbinge, R. & M.K. van Ittersum, 1994. Tension between aggregation levels. In: L.O. Fresco et al. (Eds). The Future of the land. John Wiley & Sons, New York, pp. 31-40.
- Rabbinge, R. & H. van Latesteijn, 1992. Long-term options for land use in the European Community. Agricultural systems 40, 195-210.

Romero, 1993. A research on Andelusean farmers' objectives, methodological aspects and policy implications, Exposé présenté au VIIIème congrès du EAAE Stresa, Italie.

Rosen, S., 1974, Hedonic prices and implicit markets product differentiation in pure competition, Journal of political economy 82, 34-55.

Salverda, M., 1994. Scope for increasing farm household incentives. document interne, Université Agricole Wageningen.

Singh, I., L. Squire & J. Strauss, 1986. Agricultural household models: extensions, applications and policy. Baltimore, John Hopkins University Press for the World Bank, p. 48-91.

Steenhuijsen Piter, C.B. de, 1990. Verscheidenheid van de landbouw in zuid Mali. In: R. Brouwer & K. Jansen (eds.), Het systeem, de som van de Delen: 5 opstellen over FSR, Studium Generale, Wageningen, p. 85-111.

Tsakok, 1992. Price analysis, John Hopkins University Press, Washington.

Veeneklaas, F.R., S. Cissé, P.A. Gosseye, N. van Duivenbooden & H. van Keulen, 1991. [Competing for limited resources: the case of the fifth region of Mali. Report 4: Development scenarios](#). CABO/ESPR, CABO, Wageningen, the Netherlands, 180 pp.

Wit, C.T. de, 1992. Resource use efficiency in agriculture. Agricultural systems 40, 125-151.

[1] Dans la recherche systèmes la plupart des typologies sont basées sur les variables structurelles puisqu'elles sont faciles à suivre et leur évolution est plus lente que les autres variables.

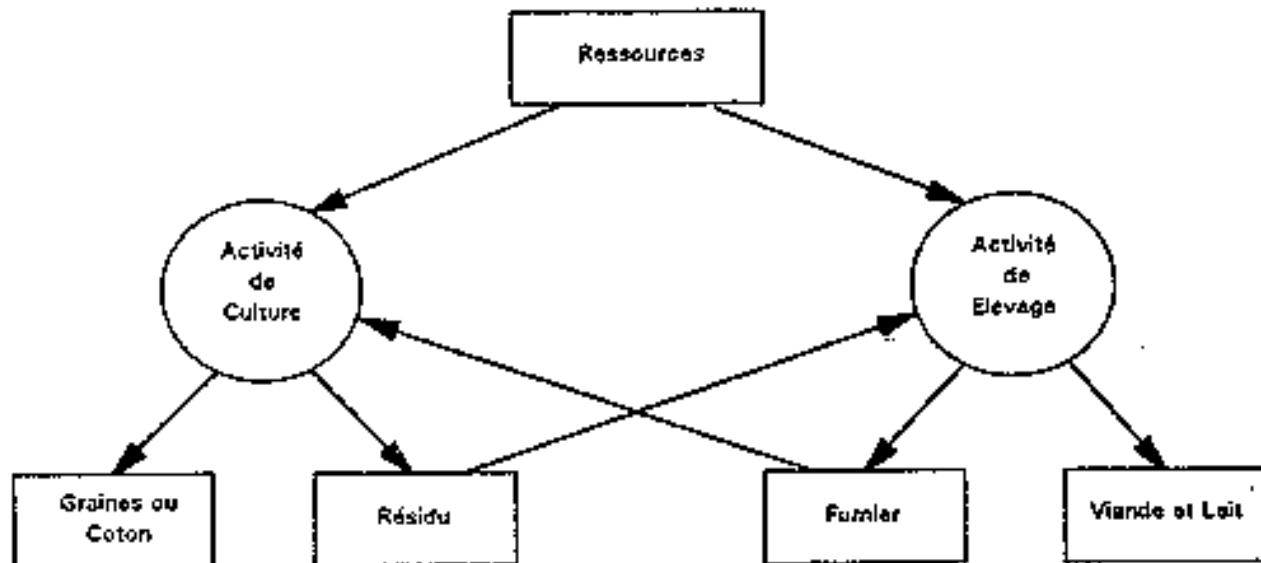
[2] Un nombre important de recherches a été conduit dans le cadre de l'aménagement et la gestion de terroir: la situation fourragère (capacité de charge) : Leloup & Traoré, 1989 ; Occupation des terres et dégradation des terroirs villageois: Janssen & Diarra, 1990 ; le droit foncier: Coulibaly & Joldersma, 1991 ; adoption des mesures LAE : van der Poel & Kaya, 1992 ; participation des femmes dans la LAE et GT: Perquin, 1993 ; régénération des pâturages dégradés; récupération des berges dégradées : van der Poel & Kaya, 1992.

[3] Les activités de l'axe de recherche gestion de terroir villageois (GTV) de l'ESPGRN dont SIWAA, aux ressources naturelles renouvelables collectives: principalement l'ESPGRN s'occupe des aspects de gestion des ressources ligneuses (le bois et ressources fourragères (les pâturages) dans cet axe van Campen & Sidibé, 1993). La gestion de la fertilité des sols est un autre thème de recherche très important de l'ESPGRN qui est traité dans la partie 'intensification agricole' (5.2.3).

[4] Dans le but de déterminer une norme de référence pour l'exploitation durables des parcours et dans le

souci d'identifier les contraintes liées aux productions animales, une étude sur la productivité des pâturages de 1989 à 1991. Cette étude montre que l'extension des terres cultivées s'est traduite par une réduction notable des zones sylvo-pastorales. Le taux de 20% qui semble être le seuil maximal d'utilisation durable des sols est largement dépassé. Ce taux pour cette zone est de l'ordre de 47% des terres cultivables (Traoré & Leloup, 1989). Une des conséquences est que la **capacité de charge** animale est largement dépassée en certains endroits. Par exemple, les effectifs animaux du village de Kaniko sont de 1125 UBT alors que la capacité de charge est de 952 UBT.

[5] Toutefois, il est important de signaler que le maïs bien qu'étant très productif, est l'une des spéculations les plus sensibles aux aléas climatiques. De plus, il rentre pour peu dans l'autoconsommation des agro-éleveurs de la zone (venant après le sorgho et le mil) et était considéré jusqu'à une période récente comme culture de rente de diversification.





Légende:  intrant et/ou extrant d'une activité
 activité: processus plus ou moins complexe de transformation des intrants en extrants

Figure 1.1. Diagramme relationnelle de deux types d'activités représentant leur compétition pour les mêmes ressources et leur interaction à travers des sous-produits.

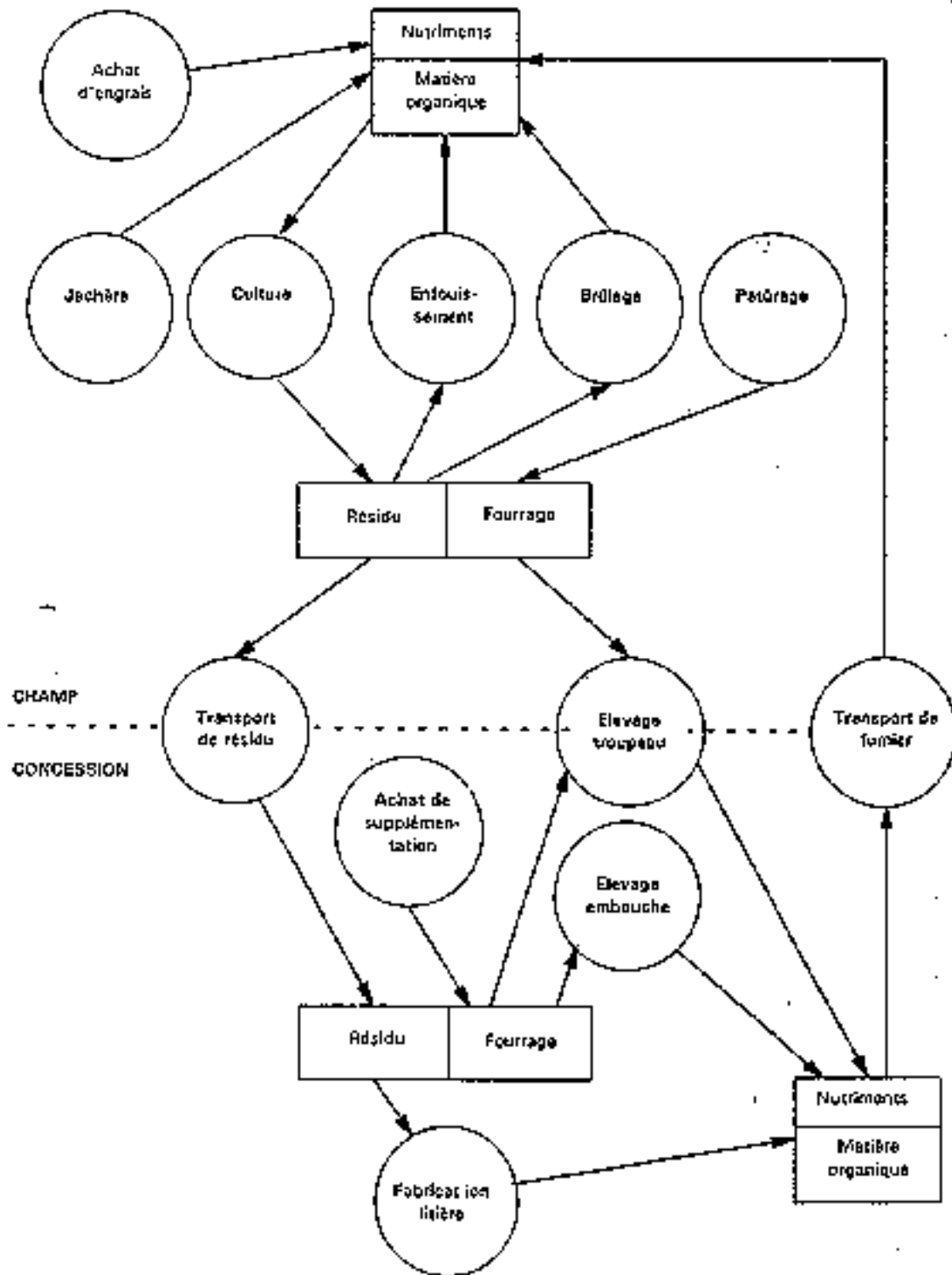


Figure 1.2. Diagramme relationnelle des activités avec leurs produits intermédiaires.

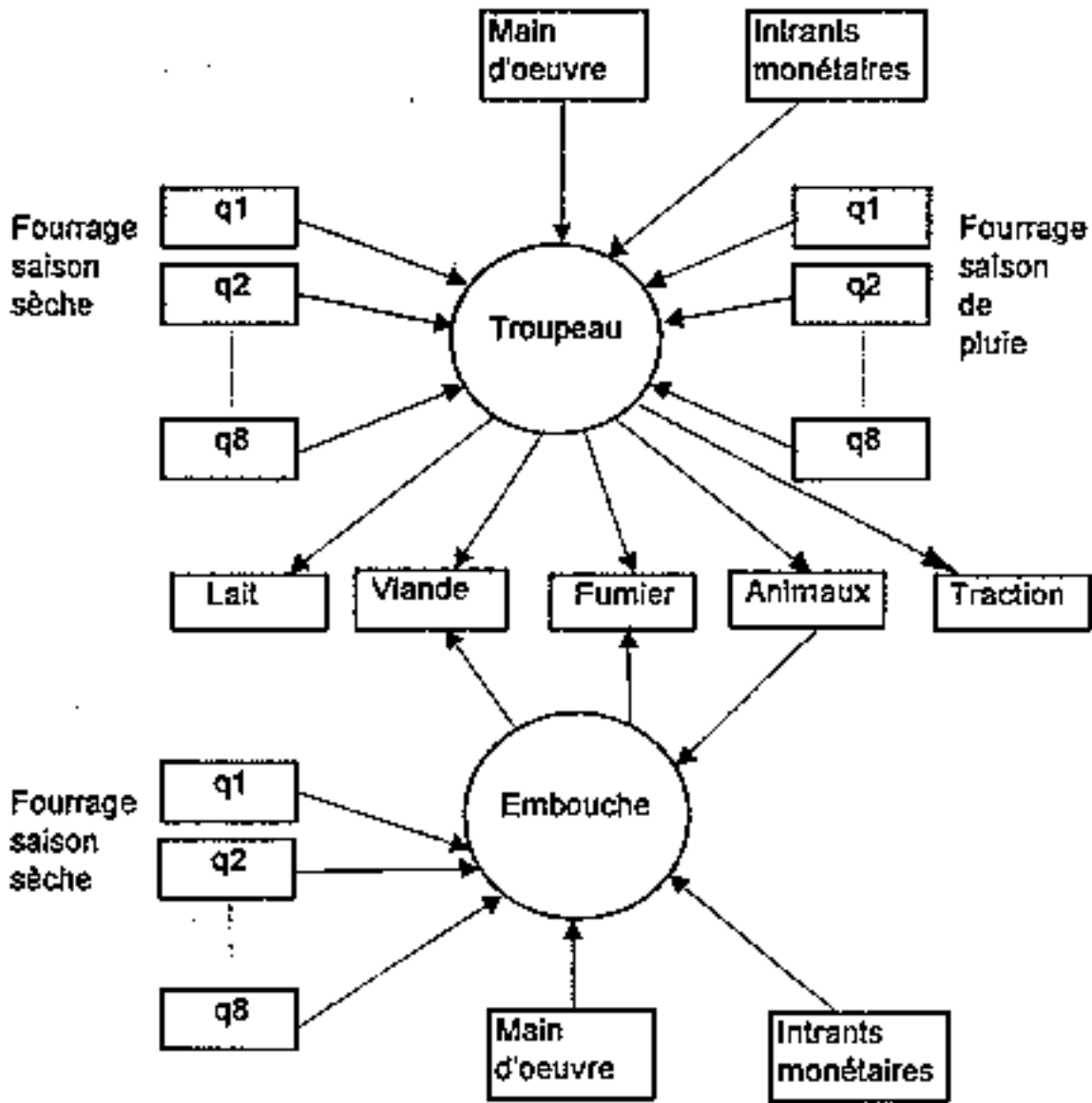


Figure 1.3. Intrants et extrants ans les activités d'élevage.

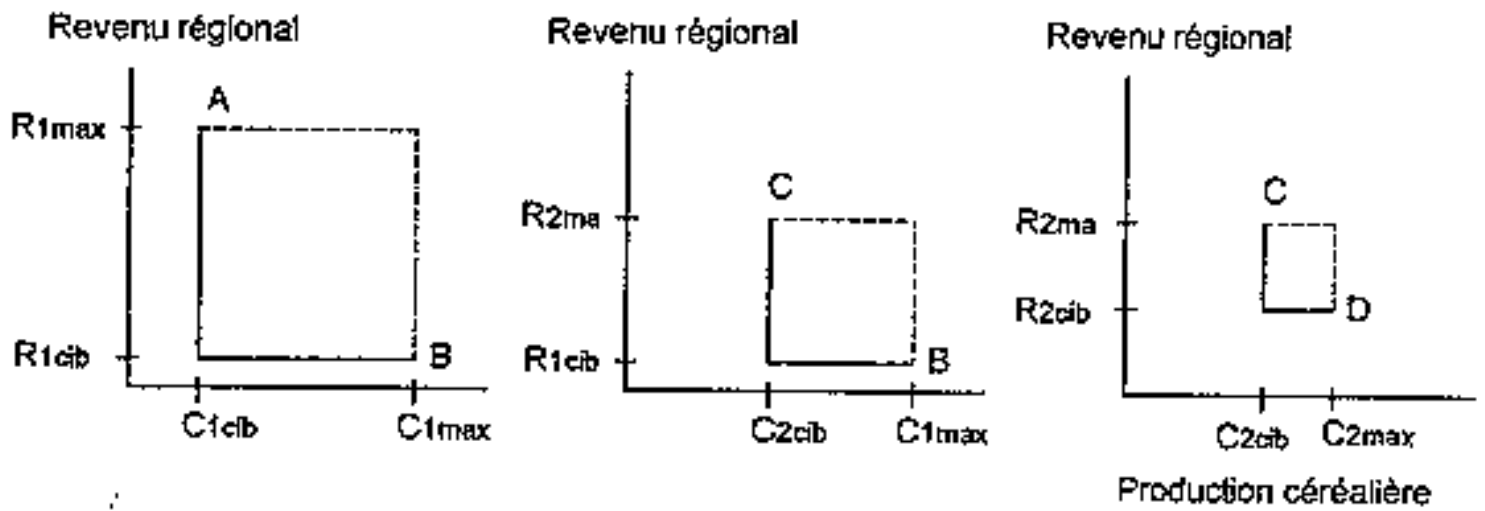


Figure 1.4. Illustration du principe de la programmation linéaire à buts multiples ; l'explication est donnée dans le texte.

Figure 1.5. Phases de la modélisation PLBM.

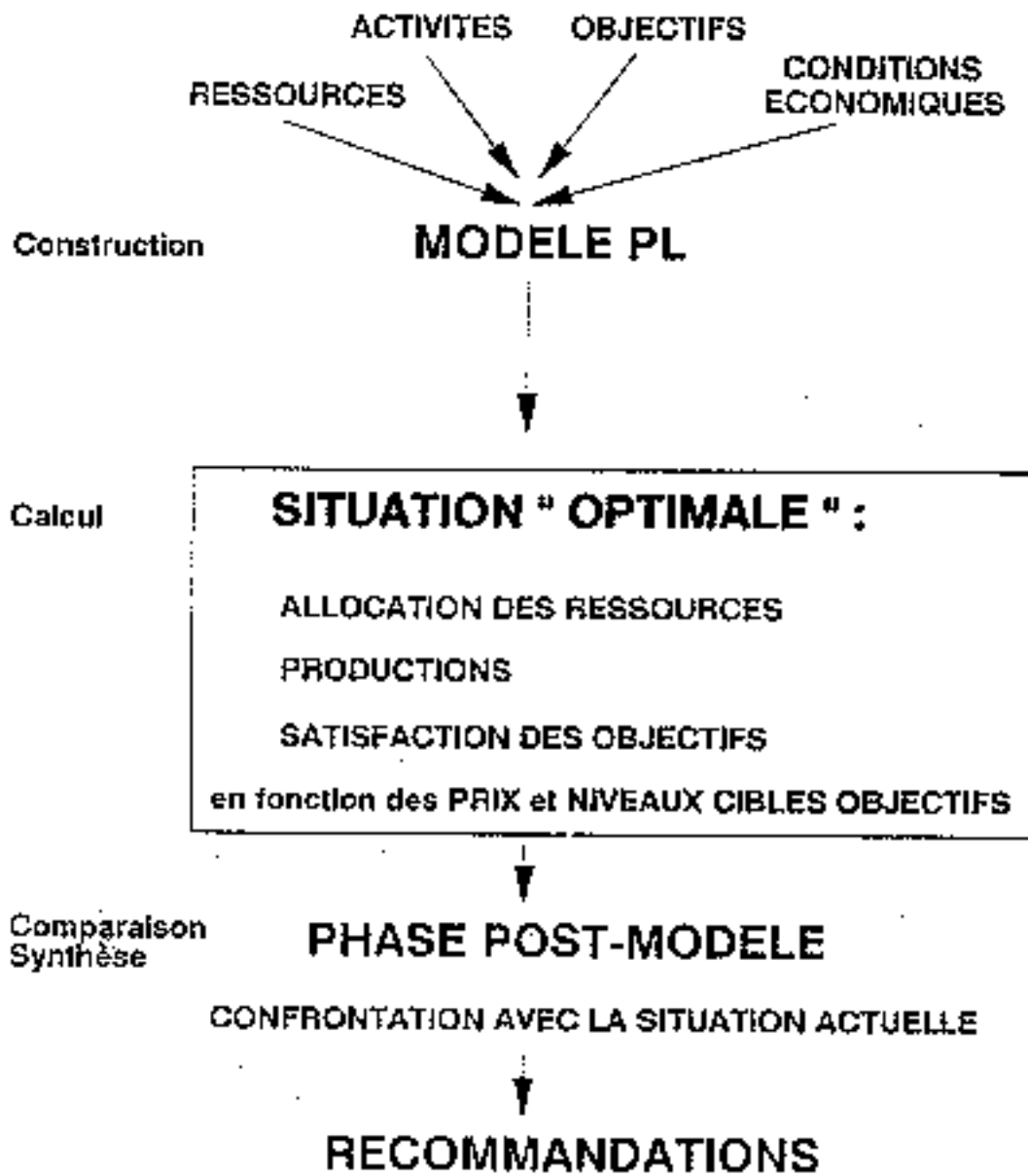
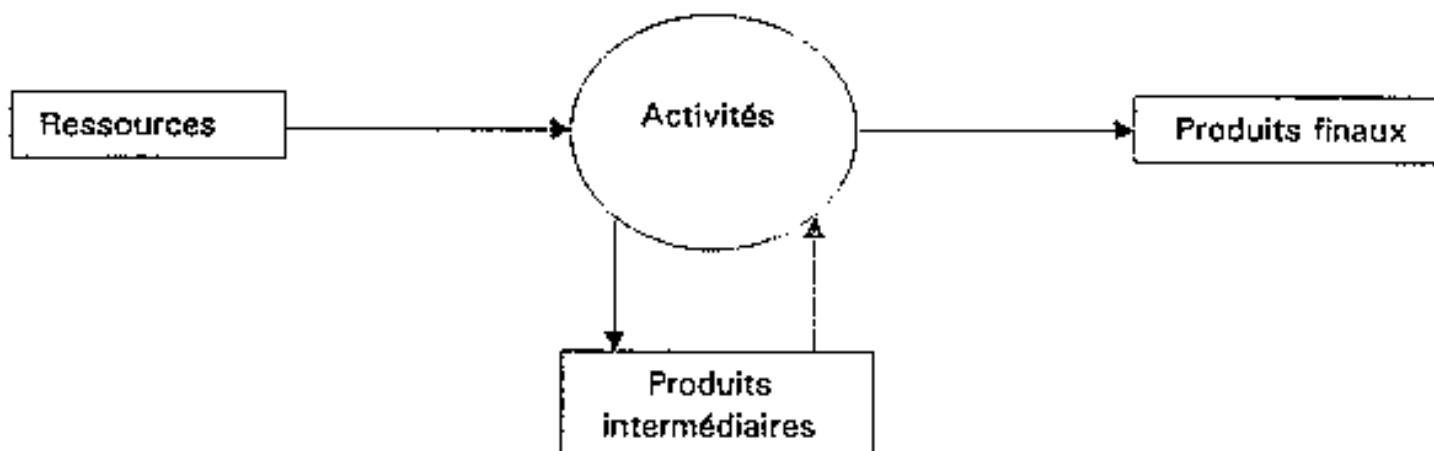


Figure 1.6. Le processus de production des activités.



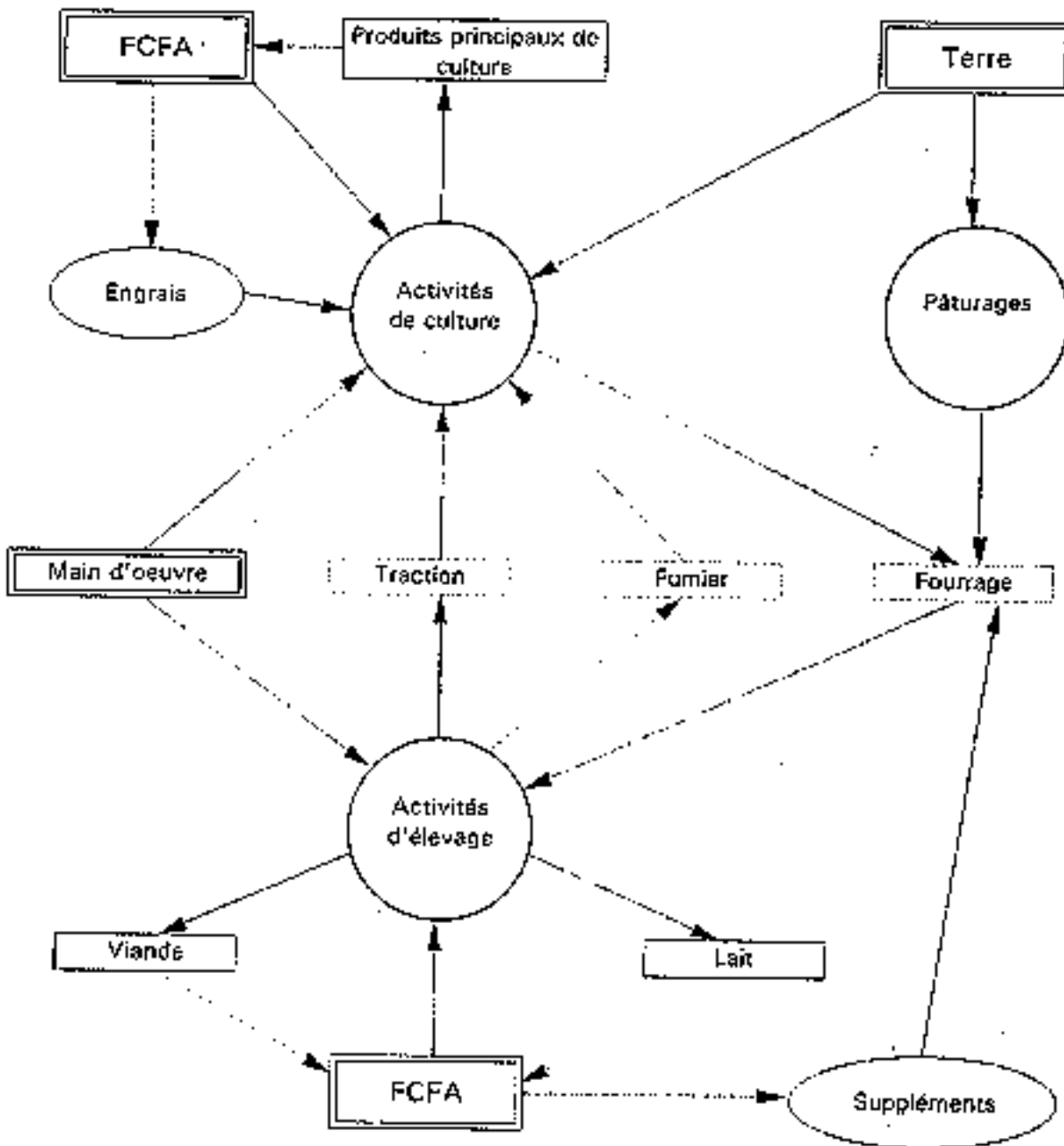


Figure 1.7. Diagramme relationnel des principaux composants du modèle PLBM.

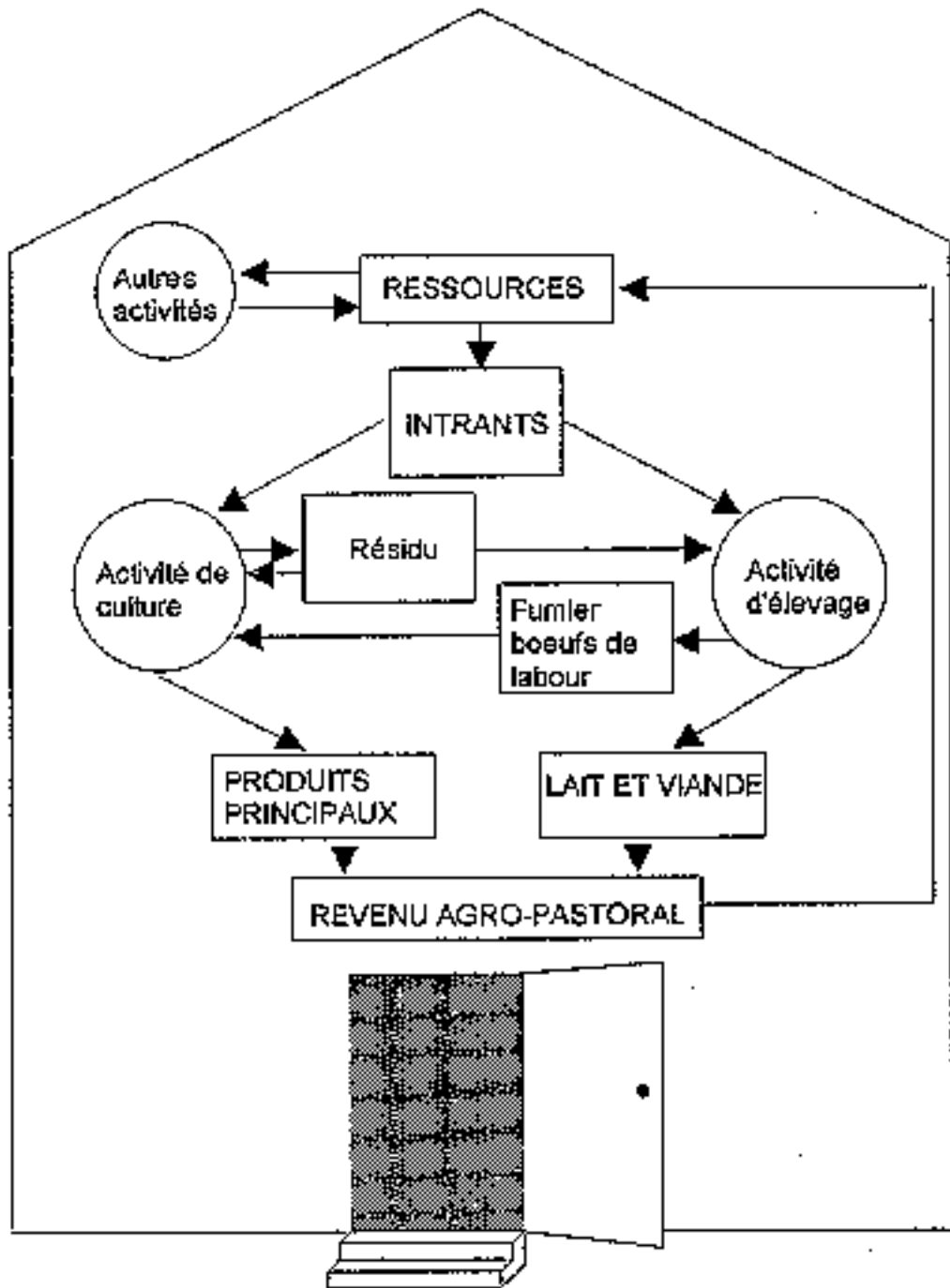
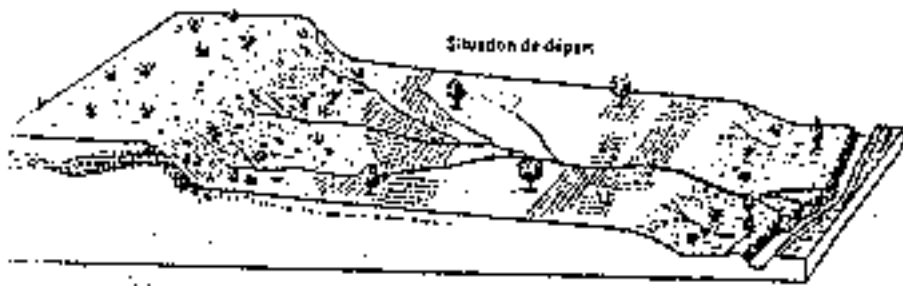


Figure 1.8. Schéma simplifié des processus à la base du modèle ferme.



Phase 1: Collecton des cordons glaciaux sur courbe de niveau et des dispositifs de protection aménagement de l'excros; mise en défens de la zone en amont des champs.



Phase 2: Plantation des haies vives sur les limites des exploitations, le long des pistes, etc; conservation et plantation d'arbres dans la zone cultivée; gestion équilibrée de la brousse.



Phase 3: Plantation des haies vives sur les limites des parcelles, installation des bandes herbées dans les grandes parcelles; gestion équilibrée de la brousse.



Phase 4: Amélioration des techniques culturales et de la rotation culturale fourragères; production fumure organique; gestion équilibrée de la brousse.

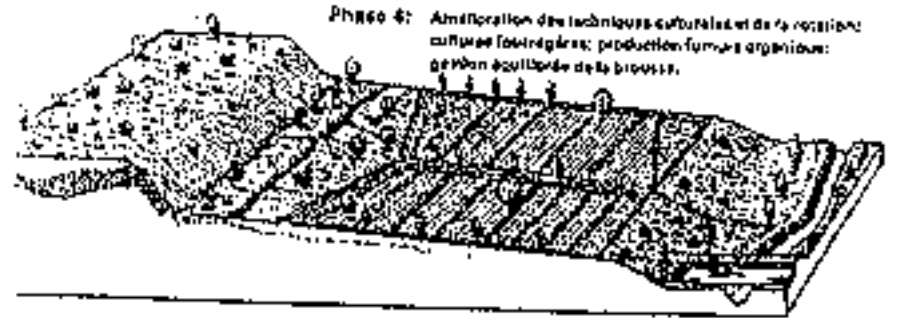
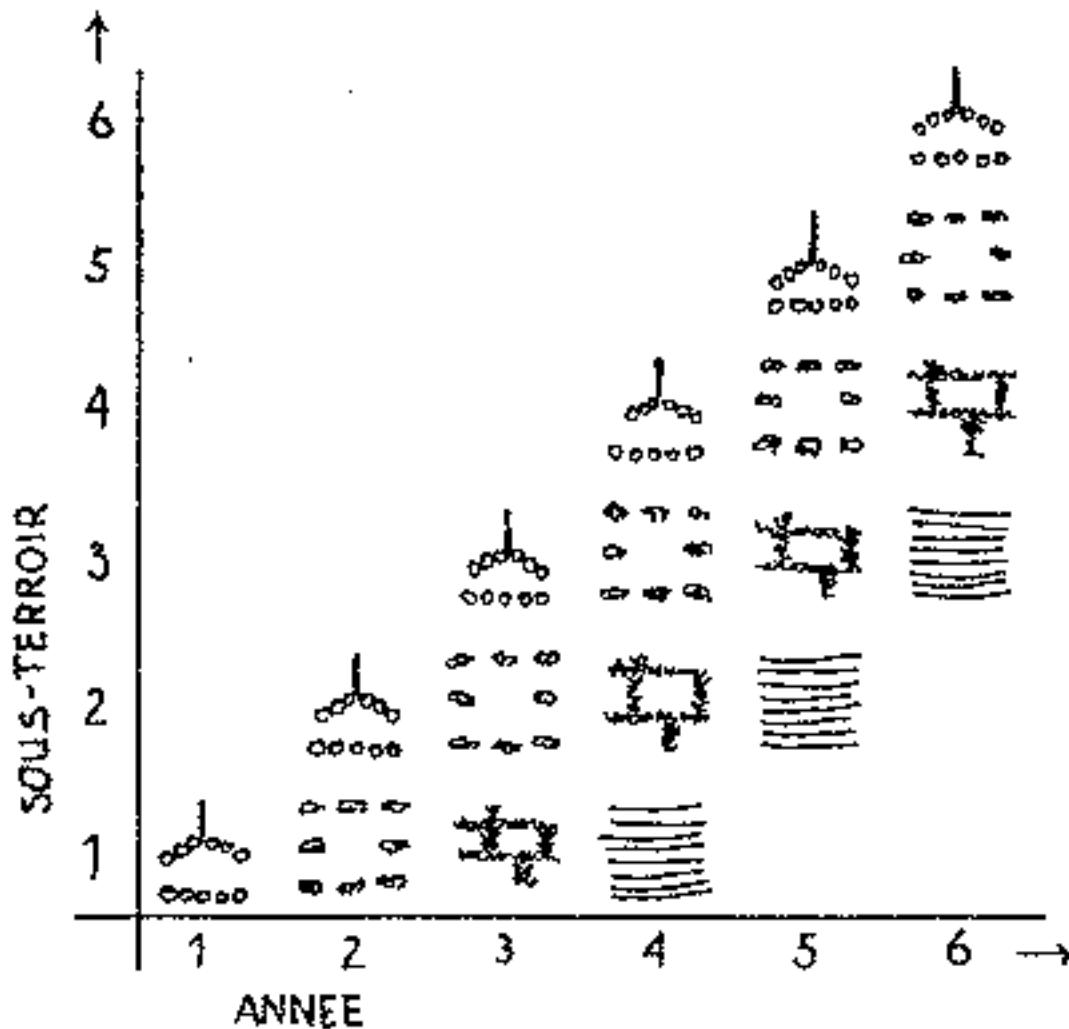






Figure 3.1. Schéma directeur d'aménagement anti-érosif d'un sous-terroir.



- PHASE I  : confection des bandes d'arrêt et des riguettes, aménagement de l'écoulement, mise en défens de la zone de protection
- PHASE II  : plantation des haies vives sur les limites existantes des exploitations, mise en défens de la zone de protection
- PHASE III  : plantation des haies vives sur les limites des parcelles, mise en défens de la zone de protection, installation des bandes enherbées
- PHASE IV  : introduction générale des pratiques agricoles adaptées.

d'après Van Campen et Kebo 1986

CMDT-DRSPQ

Figure 3.2. L'ordre dans l'exécution des travaux anti-érosifs au niveau village.

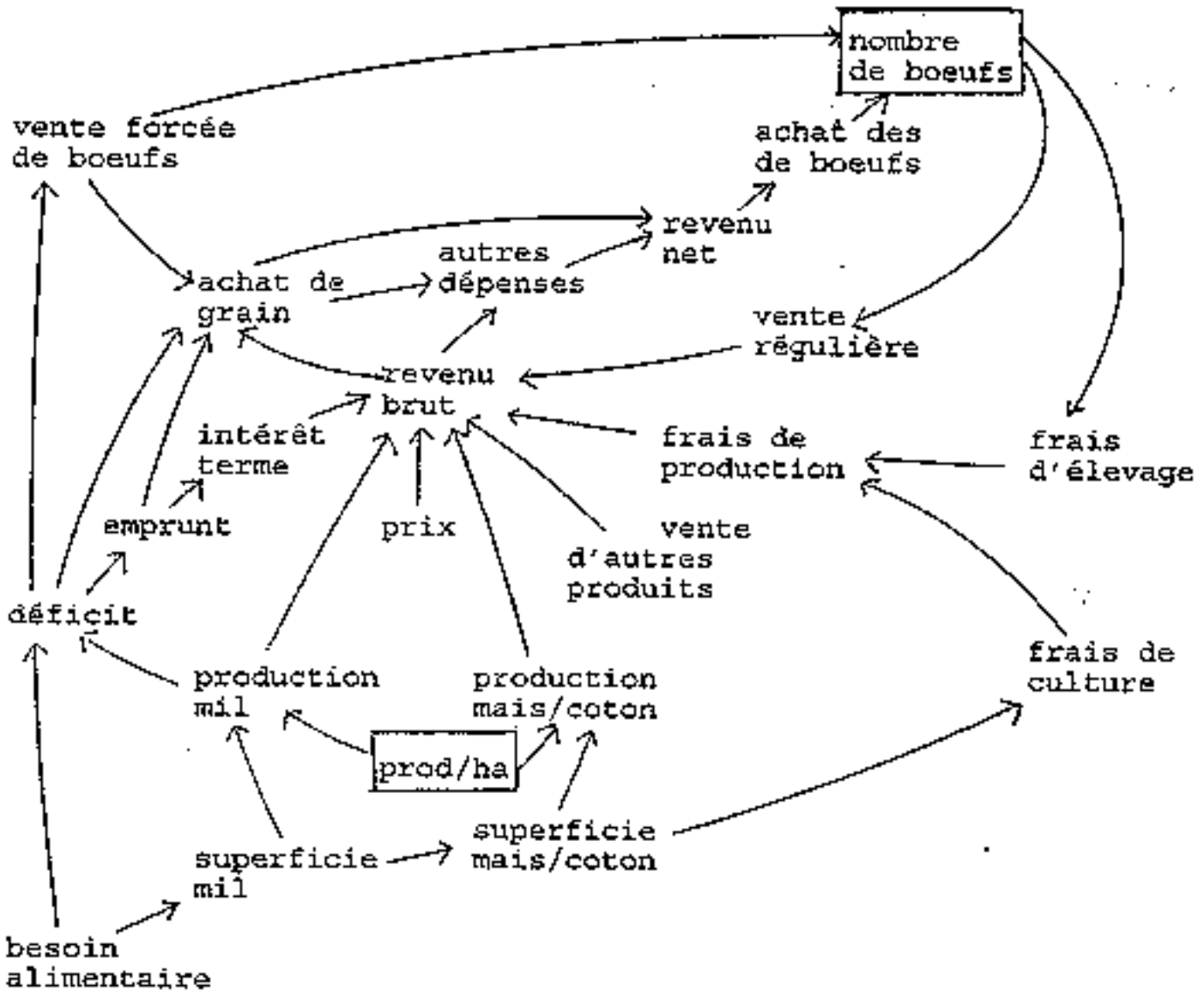


Figure. 4.1. Diagramme causal, représentant les variables principales et leurs relations, qui déterminent l'économie du paysan.

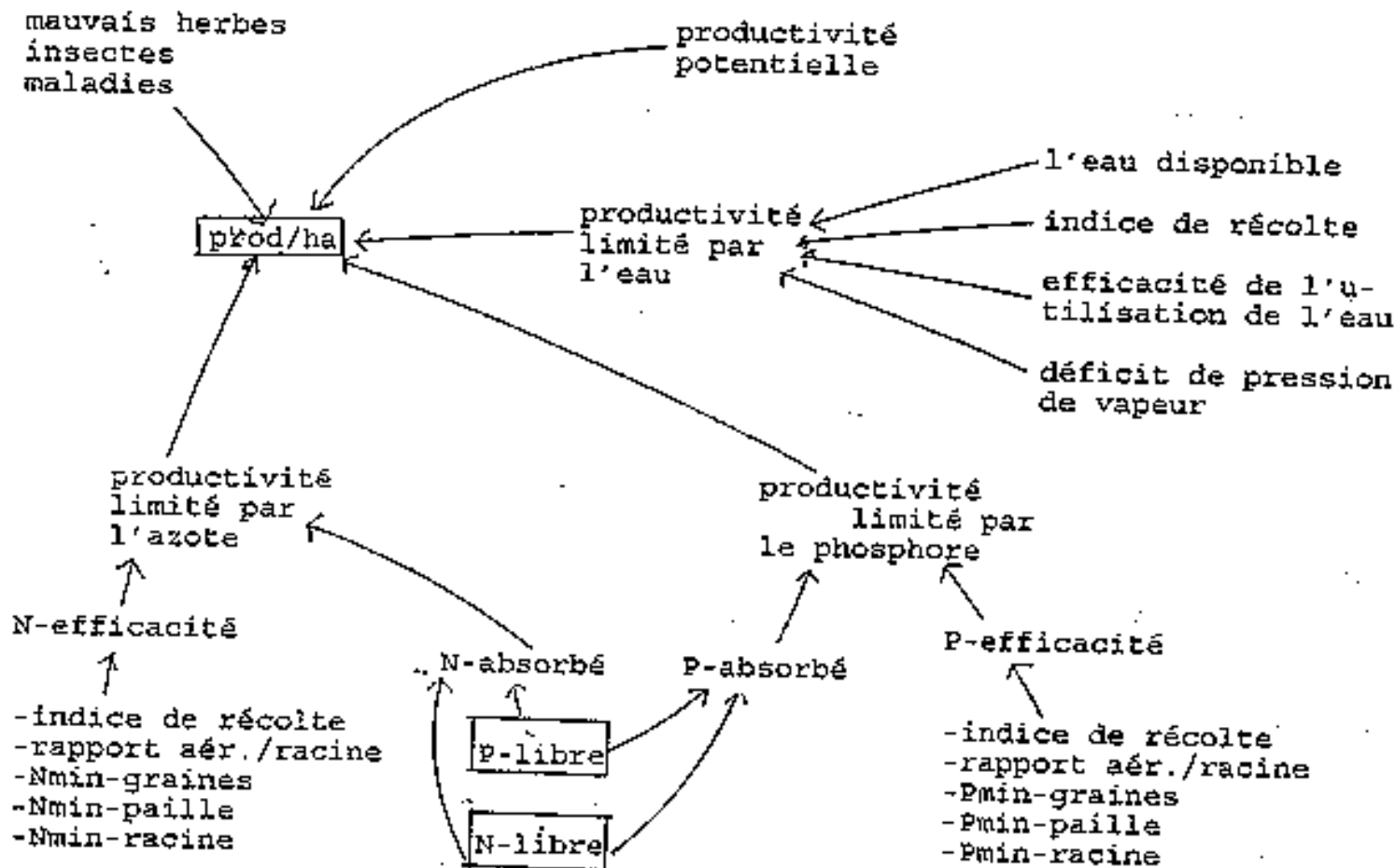


Figure. 4.2. Diagramme, représentant les facteurs qui déterminent la productivité d'une culture.

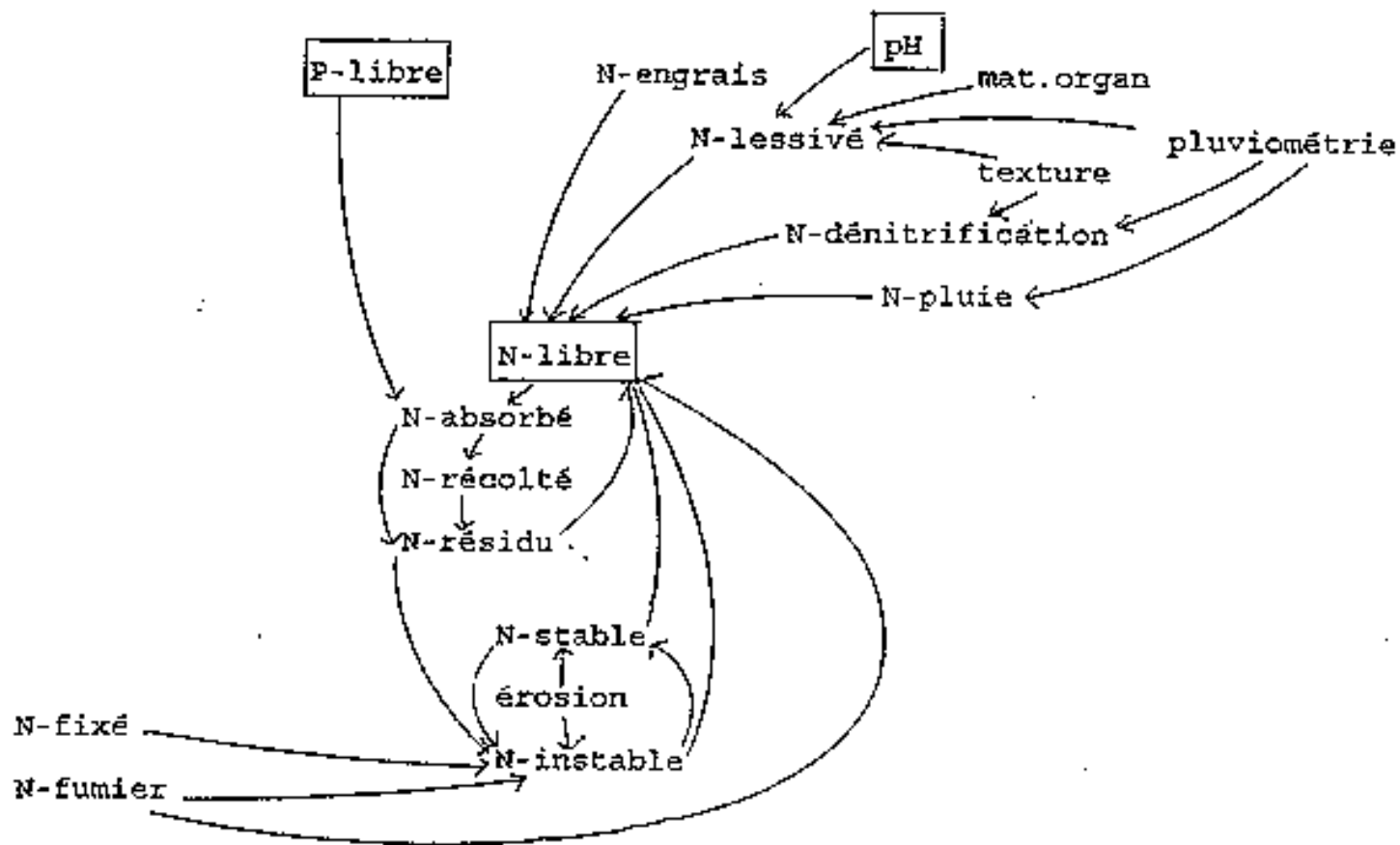


Figure. 4.3. La dynamique de l'azote.

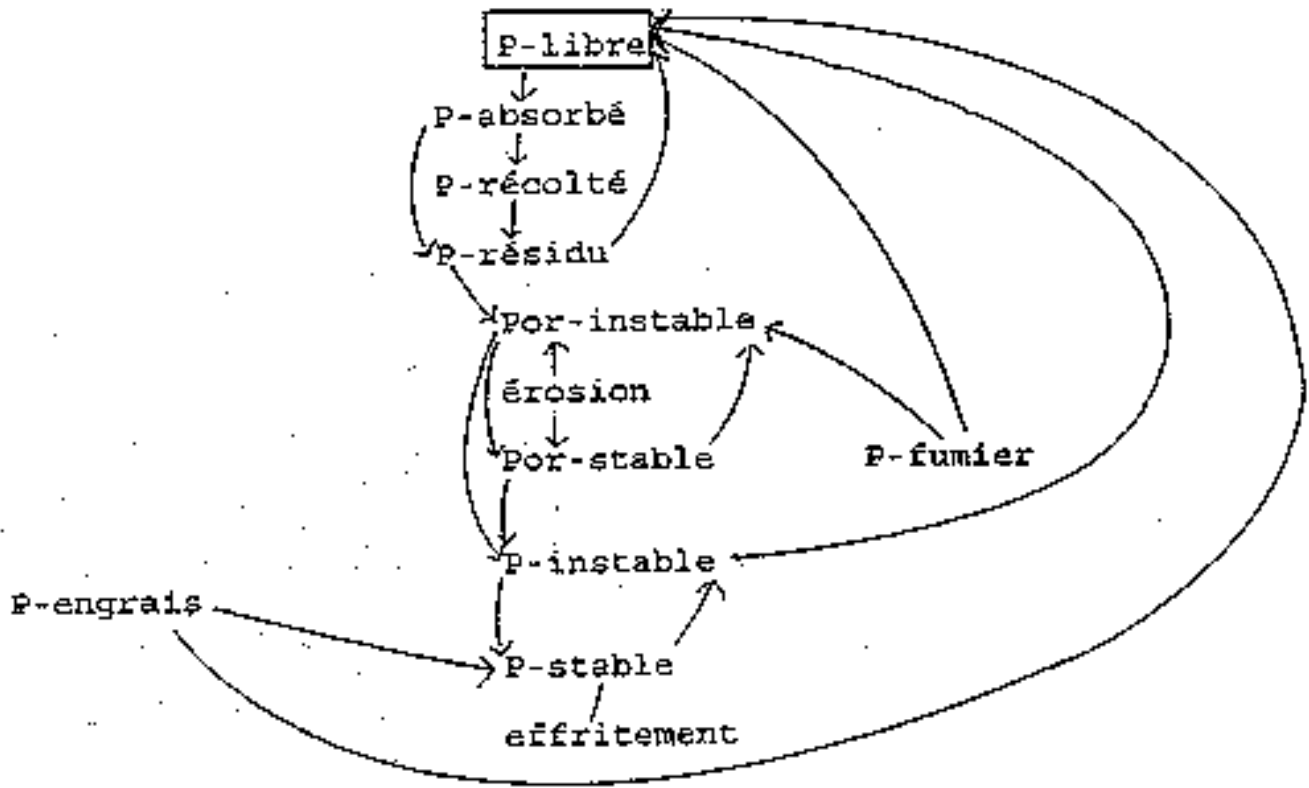


Figure. 4.4. La dynamique du phosphore.

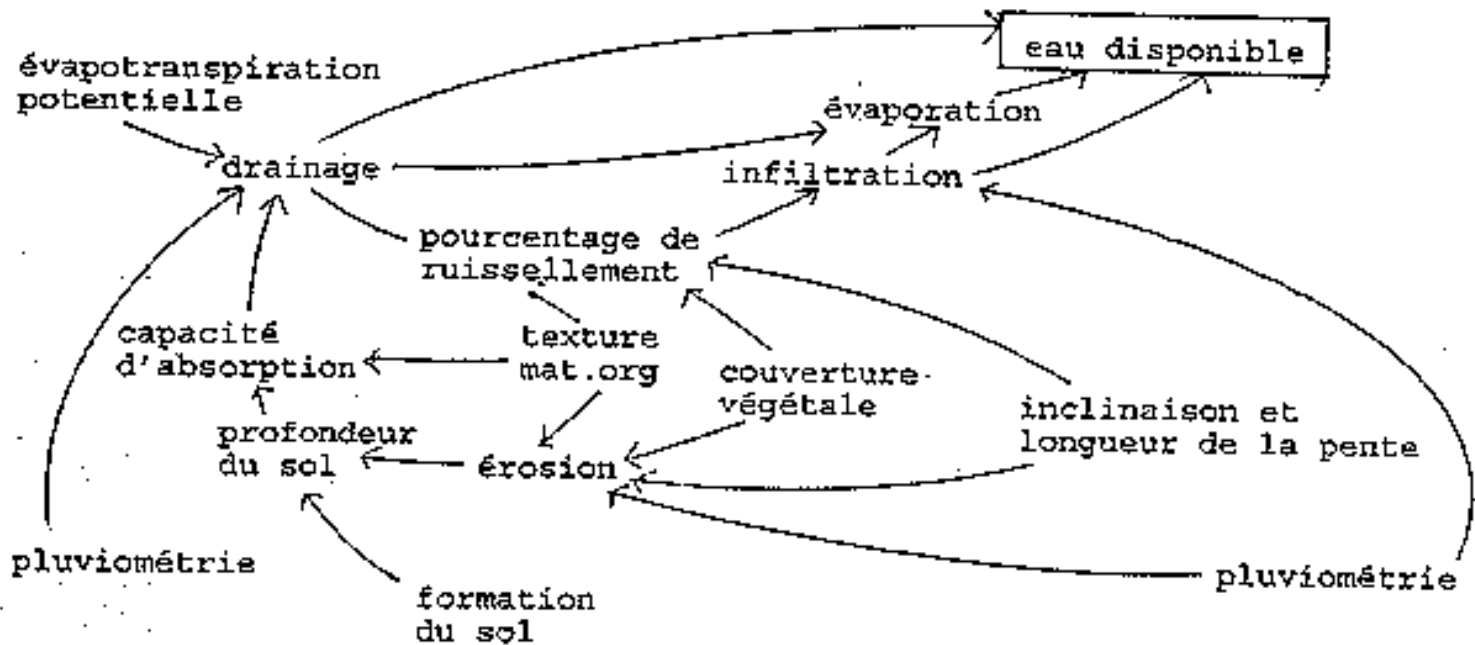


Figure. 4.5. Les facteurs qui déterminent la disponibilité de l'eau.

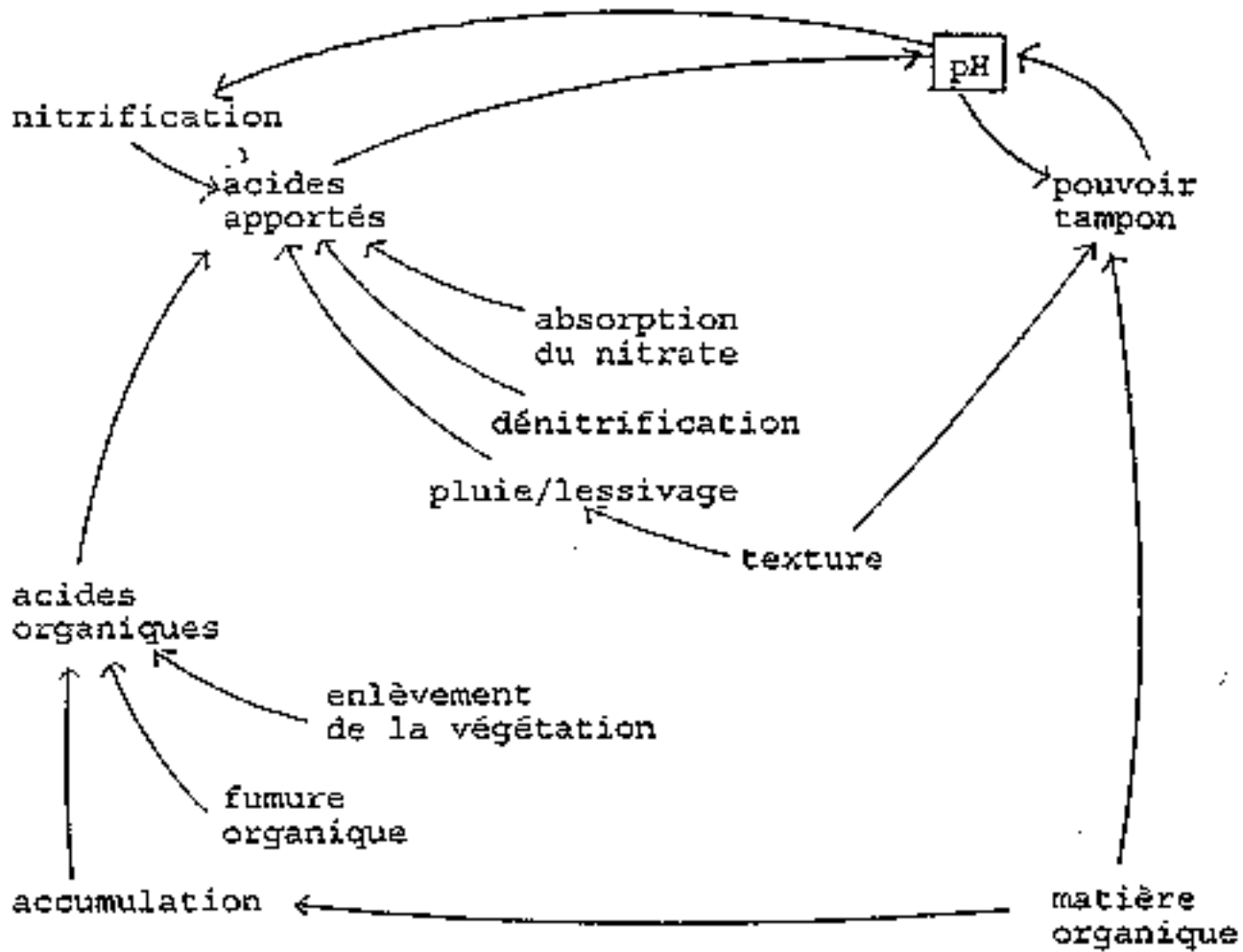


Figure. 4.6. Les facteurs qui déterminent l'acidité du sol.

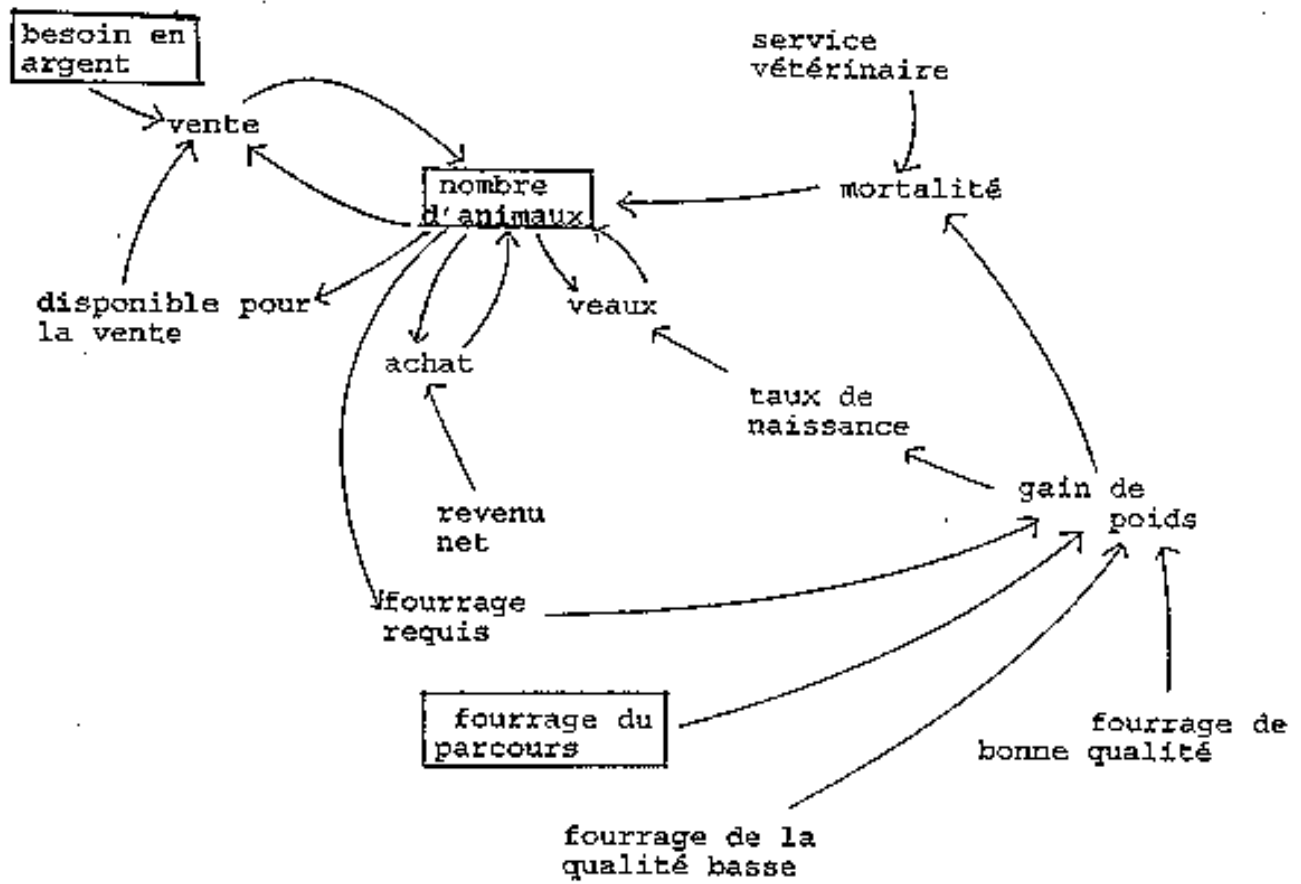


Figure. 4.7. La dynamique du troupeau.

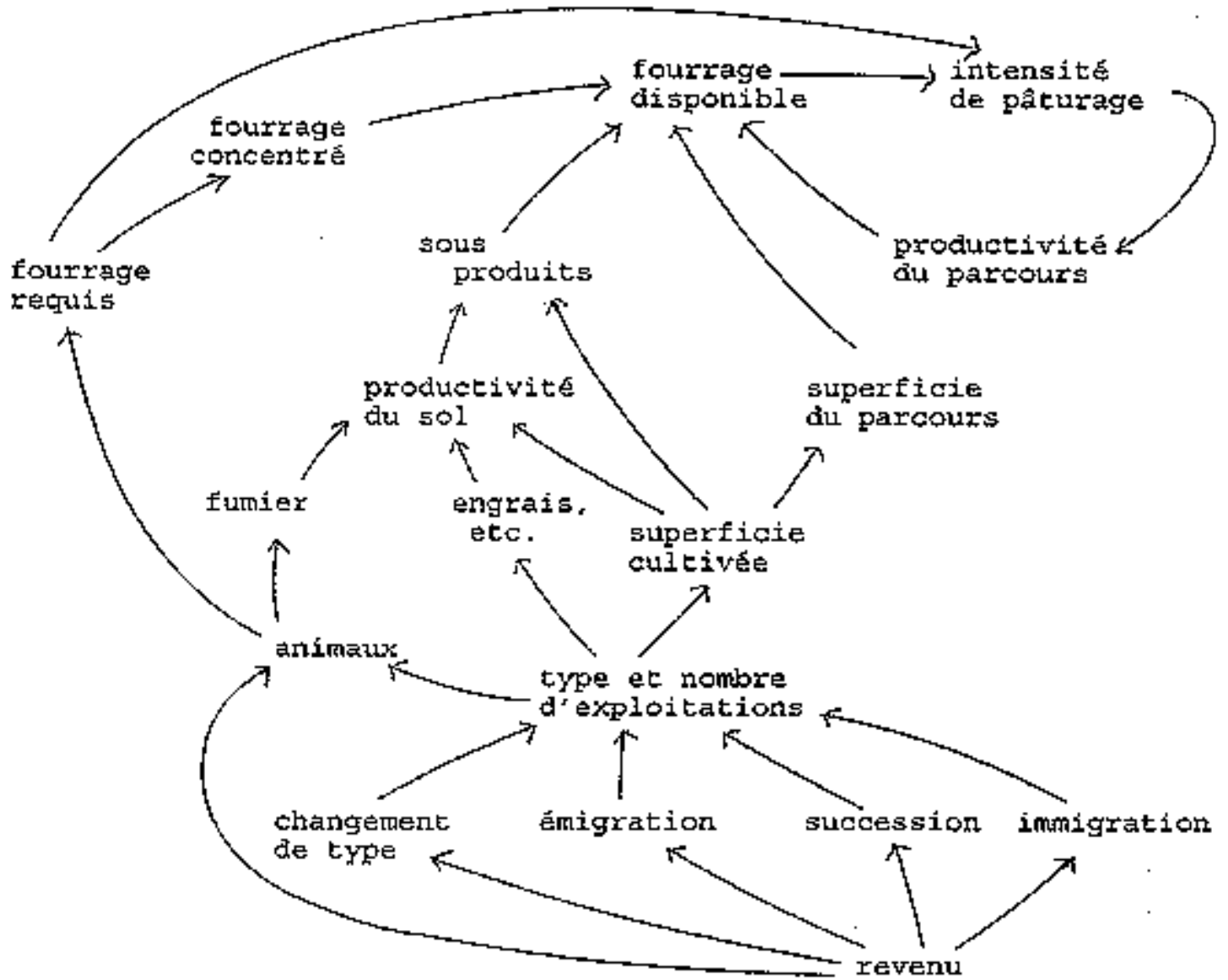


Figure 8. Les facteurs qui déterminent la disponibilité du fourrage.

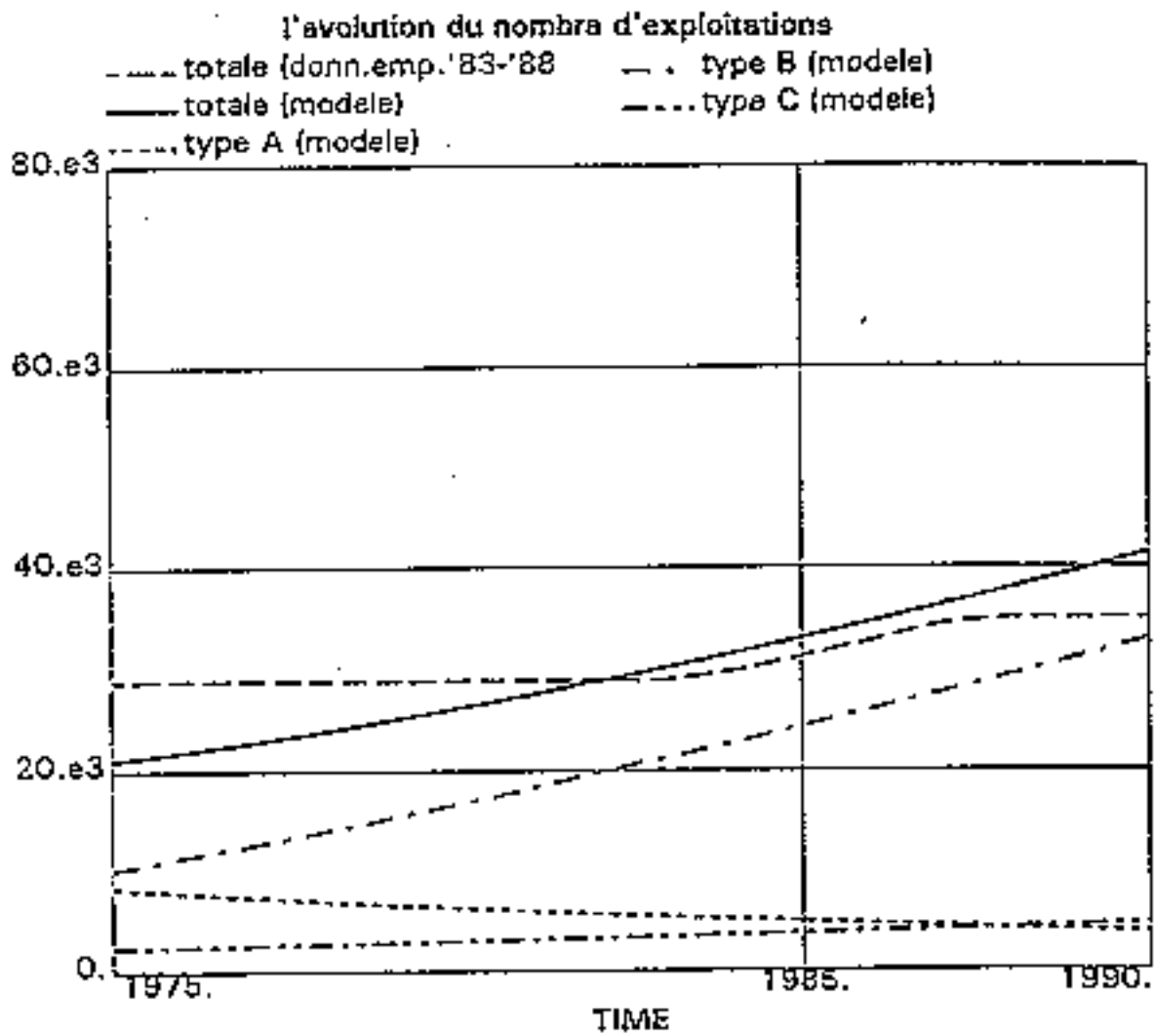


Figure 4.9. L'évolution des exploitations.

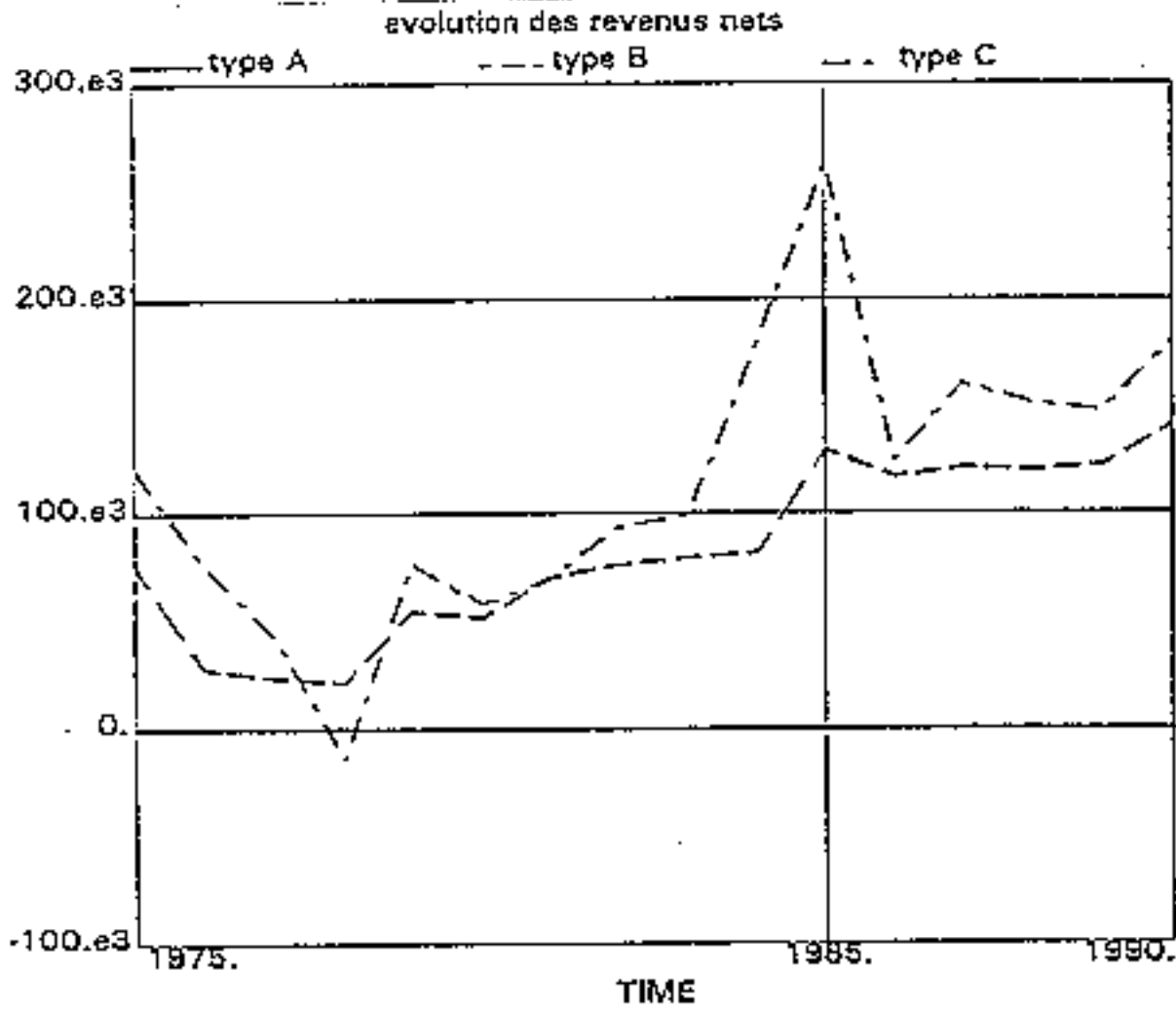


Figure 4.10. L'évolution des revenus nets.

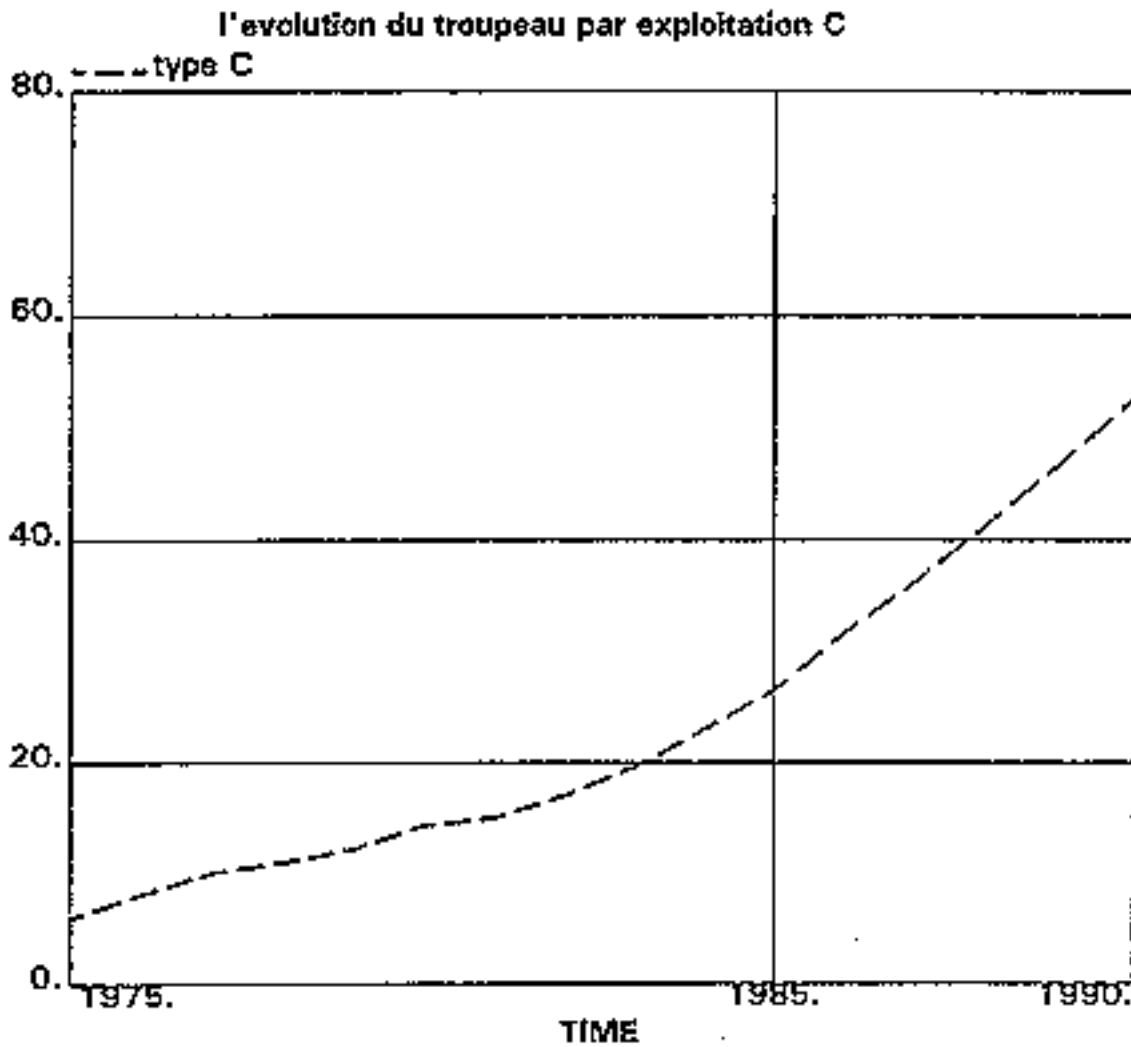


Figure 4.11. L'évolution du nombre de boeufs par exploitation du type C.

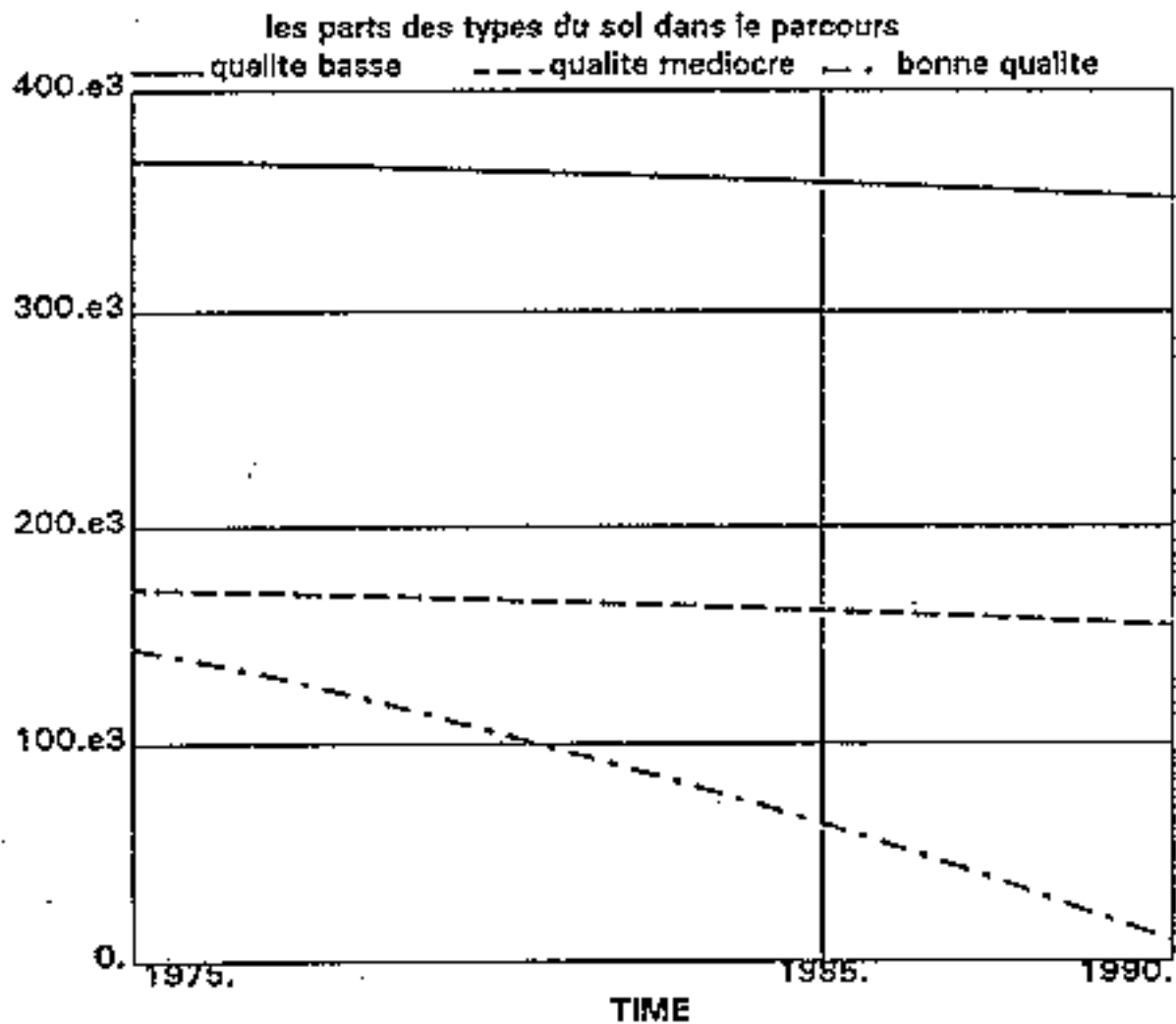


Figure 4.12. L'évolution des superficies de différents types du sol du parcours.

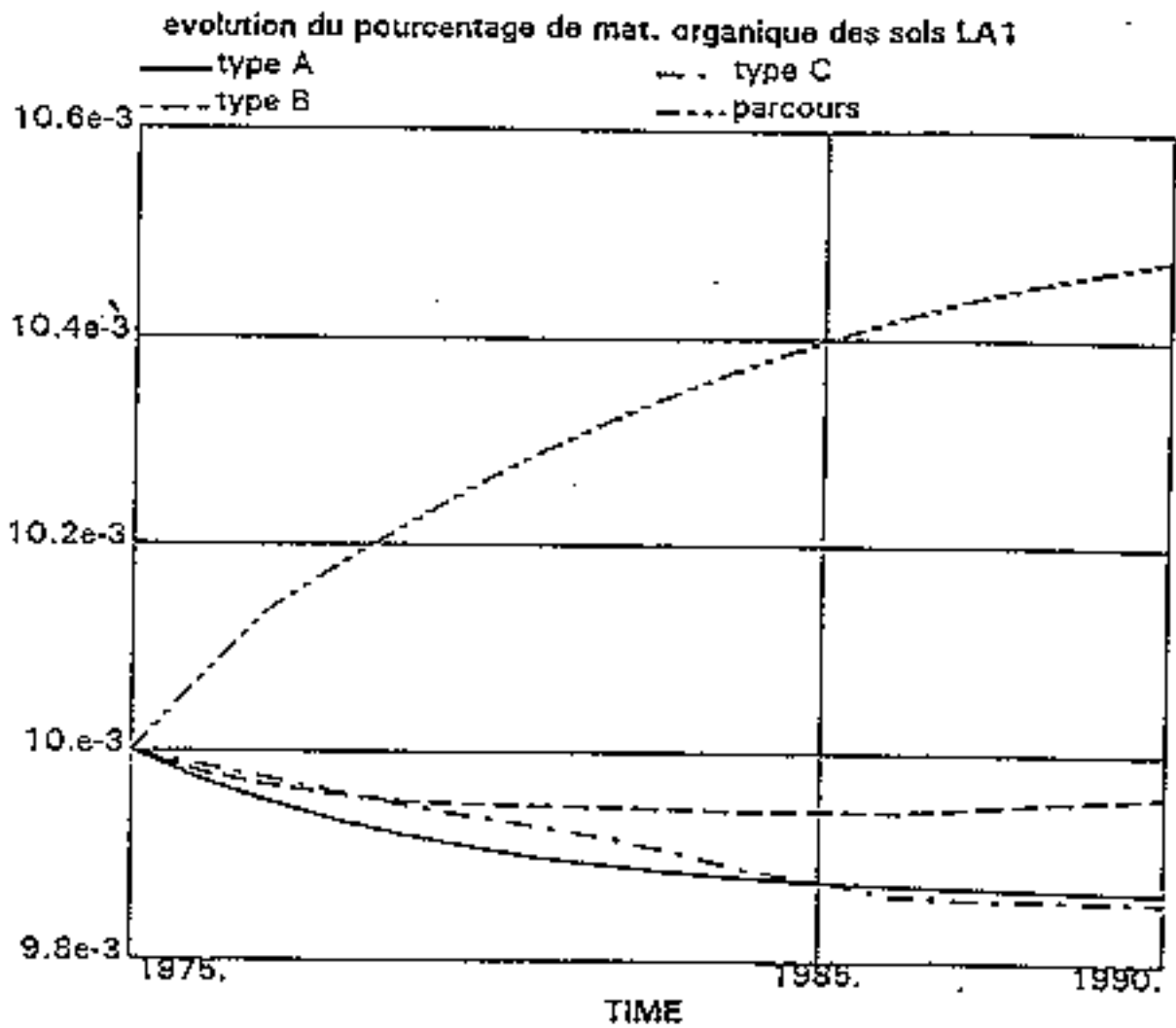


Figure 4.13. L'évolution des taux de matière organique.

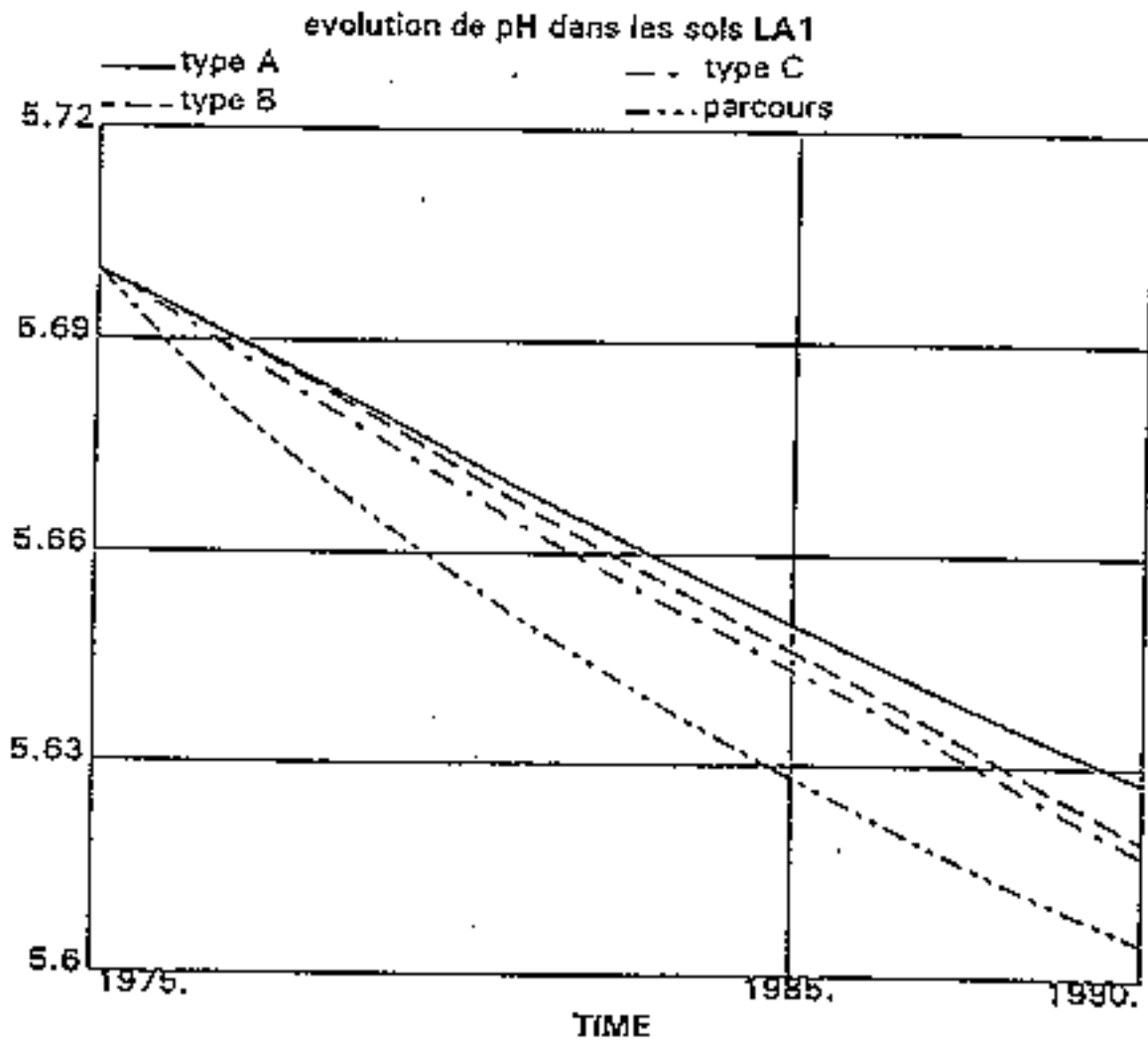


Figure 4.14. L'évolution du pH.

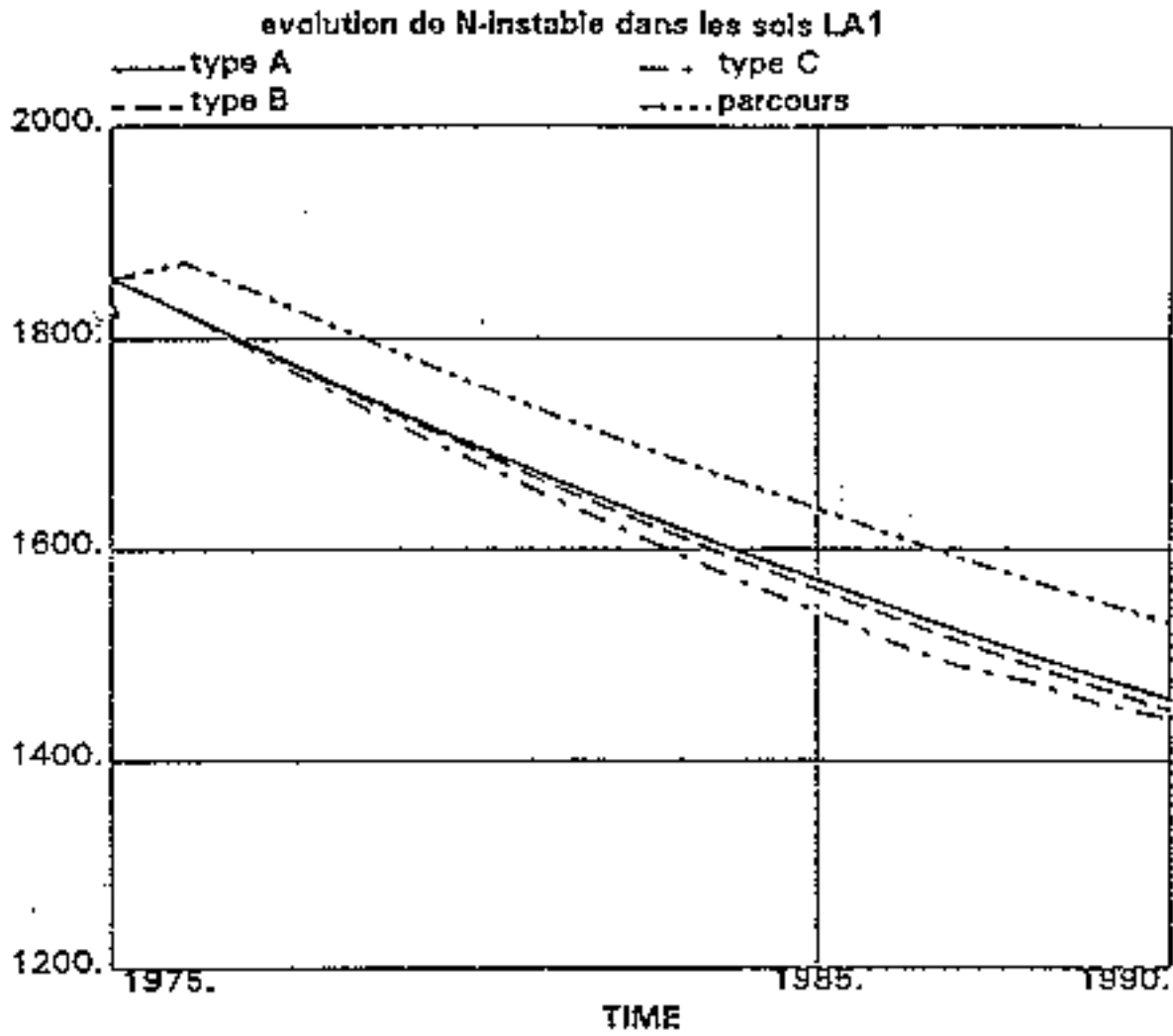


Figure 4.15. L'évolution de taux d'azote instable.

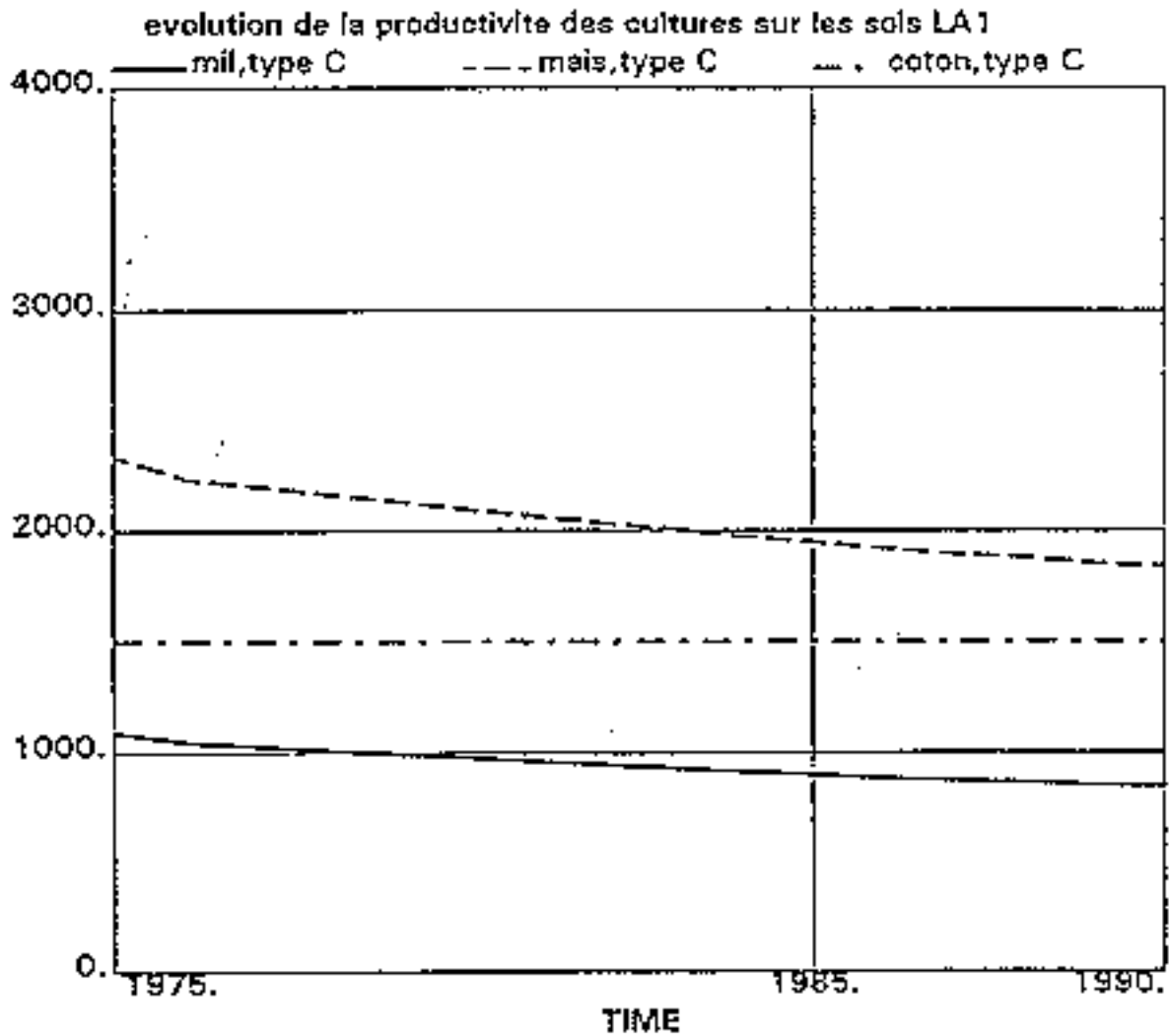


Figure 4.16. L'évolution des rendements par ha du mil, du maïs et du coton.

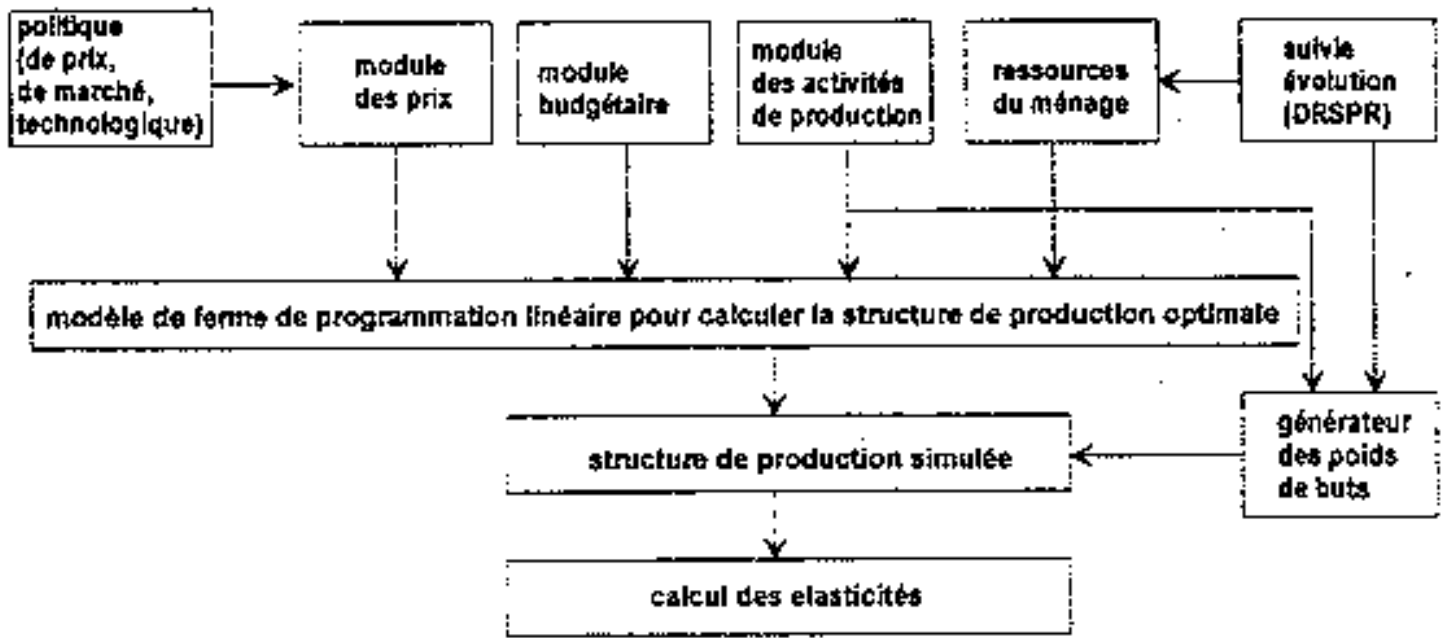


Figure 6.1. La structure du modèle.