

A.K MALI
MINISTRE DU DEVELOPPEMENT RURAL
ET DE L'ENVIRONNEMENT

INSTITUT D'ECONOMIE RURALE

CENTRE REGIONAL DE RECHERCHE
AGRONOMIQUE DE NIONO

STATION DE NIONO

PROJET PRODUCTION SOUDANO-
SAHELIENNE PSS

PAYS-BAS
DIRECTORAT GENERAL DE
LA COOPERATION
INTERNATIONALE (DGIS)

INSTITUT DE RECHERCHE EN
AGROBIOLOGIE ET FERTILITE
DU SOL (AB-DLO) WAGENINGEN



SEMINAIRE

de présentation des résultats de recherche de
l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) (1991-1995)

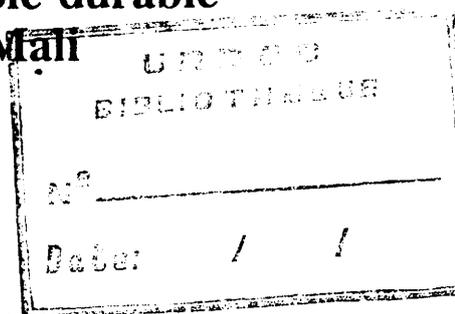
Organisé par le Projet

Production Soudano-Sahélienne (PSS) les 29 et 30 Juin 1995 à Bamako.

MODELISATION ET POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT:

Perspectives d'un développement agricole durable
en zone Soudano-Sahélienne du Mali

	Par	
Evert Jan	BAKKER,	Econométriste
Mohamed S.M.	TOURE,	Agro-économiste
Keffing	SISSOKO,	Agro-économiste
Wim	QUAK,	Agronome



EQUIPE MODELISATION DES SYSTEMES (EMS)

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
1.1. PRESENTATION SOMMAIRE DU PROJET PSS	1
Approche méthodologique générale	1
Organisation scientifique:	2
1.2. OBJECTIFS DE L'EQUIPE MODELISATION DES SYSTEMES (EMS)	3
1.3. METHODOLOGIE GENERALE DE L'EMS	3
2. RESSOURCES DISPONIBLES EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE	5
2.1 METHODOLOGIE DE DECOUPAGE DE LA ZONE EN UNITES SOLS/CLIMATS HOMOGENES DENOMMEES SOUS/ZONES ...	6
2.2 RESSOURCES HUMAINES: POPULATION ET MAIN-D'OEUVRE ..	8
2.3 CLIMAT ET RESSOURCES EN SOLS	9
2.3.1 Description agro-écologiques des unités Sols/Climat homogènes (sous/zones) en zone soudano-sahélienne	12
2.4 LES AUTRES RESSOURCES	21
2.4.1 Ressources animales	21
2.4.2 Ressources ligneuses	21
2.4.3 Ressources en eau	24

3. ACTIVITES	25
3.1. APPROCHE DE DEFINITION DES ACTIVITES	25
3.1.1. Les types d'activité et leurs interrelations à travers les intrants/extrants	26
3.1.2. Activités, systèmes de production et durabilité	28
3.1.3. Les intrants et extrants des activités de la région	30
3.2 ACTIVITES DE CULTURE	33
3.2.1 Définition	33
3.2.2 Description quantitative	34
3.2.3 Analyse économique des activités de culture	39
3.2.3.1 Conditions de prix	40
3.2.3.2 Analyse des budgets partiels	41
3.2.3.3 Analyse marginale	46
3.2.3.4 Analyse de sensibilité	52
3.2.3.5 Résultats	52
3.3 ACTIVITES DE SOUTIEN	59
3.3.1 Activité de jachère	59
3.3.2 Activité de pâturage	60
3.3.3 Activités de brûlis des résidus	60
3.3.4 Activités d'enfouissement des résidus	61
3.3.5 Activités de fabrication de litière	61
3.3.6 Activités de transport des résidus vers la ferme	62
3.3.7 Activités de transport de fumier vers le champ	62
3.4 ACTIVITE D'ELEVAGE	63
3.4.1. Activités d'élevage en troupeau bovin	65
3.4.2. Les activités d'embouche	69
3.4.3 Activités de traction bovine	71
3.4.4 Activités d'élevage de troupeau de petits ruminants (ovins/caprins)	72

4. MODELISATION	75
4.1 LA PLANIFICATION À BUTS MULTIPLES: UN OUTIL D'ANALYSE DES OPTIONS DE PRODUCTION AGRICOLE DURABLE	75
4.2. DESCRIPTION DU MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE .	82
4.2.1 Composantes principales du modèle PL	82
4.2.2 La langue de modélisation utilisée	83
4.2.3 Explication technique du modèle	85
4.3 MODELISATION AU NIVEAU ZONE SOUDANO-SAHELIENNE . .	91
4.3.1 Rappels sur les ressources disponibles	91
4.3.2 Définition de deux scénarios (ou stratégies de développement)	91
4.3.3 Résultats scénario de base; (fonction objectif: maximiser le revenu)	91
4.3.3 Résultats scénario de base avec autres fonctions objectifs et scénario alternatif	95
4.4. MODELISATION AU NIVEAU CERCLE: CAS DE KOUTIALA . . .	96
4.4.1 INTRODUCTION: Raisons du choix de Koutiala et situation générale du cercle	96
4.4.2 Ressources disponibles dans le Cercle de Koutiala	98
4.4.2 Conditions de prix	98
4.4.3. Méthodologie de formulation de stratégie de développement durable au niveau du cercle de koutiala à l'aide de la modélisation	98
4.4.4 Résultats du modèle	100
a. Stratégie d'allocation des ressources en terres	100
b. Production agricole	101
c. Production animale	103
d. Le revenu global (valeur de la production)	105
e. Coûts total de production	105
f. Revenu net	106
4.5 MODELISATION AU NIVEAU FERME ET COMPARAISON FERMES ET CERCLE DE Koutiala	108
4.5.1 Caractéristiques des principaux types de ferme dans le cercle de Koutiala	108
4.5.2. Conditions de prix	108
4.5.3. Formulation d'une stratégie de gestion durable de la ferme . .	109
a. Choix des objectifs de production et de fonction objectif à optimiser	109
b. Contraintes	109
c. Aspects économiques	110
4.5.4 Résultats du modèle pour la ferme de type A et comparaison fermes et cercle de Koutiala	113
4.5.4.1. Résultats au niveau ferme de type A	113
4.5.4.2. Résultats du modèle UP_A et situation actuelle UP_A	122

4. MODELISATION	75
4.1 LA PLANIFICATION À BUTS MULTIPLES: UN OUTIL D'ANALYSE DES OPTIONS DE PRODUCTION AGRICOLE DURABLE	75
4.2. DESCRIPTION DU MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE .	82
4.2.1 Composantes principales du modèle PL	82
4.2.2 La langue de modélisation utilisée	83
4.2.3 Explication technique du modèle	85
4.3 MODELISATION AU NIVEAU ZONE SOUDANO-SAHELIENNE . .	91
4.3.1 Rappels sur les ressources disponibles	91
4.3.2 Définition de deux scénarios (ou stratégies de développement)	91
4.3.3 Résultats scénario de base; (fonction objectif: maximiser le revenu)	91
4.3.3 Résultats scénario de base avec autres fonctions objectifs et scénario alternatif	95
4.4. MODELISATION AU NIVEAU CERCLE: CAS DE KOUTIALA . . .	96
4.4.1 INTRODUCTION: Raisons du choix de Koutiala et situation générale du cercle	96
4.4.2 Ressources disponibles dans le Cercle de Koutiala	98
4.4.2 Conditions de prix	98
4.4.3. Méthodologie de formulation de stratégie de développement durable au niveau du cercle de koutiala à l'aide de la modélisation	98
4.4.4 Résultats du modèle	100
a. Stratégie d'allocation des ressources en terres	100
b. Production agricole	101
c. Production animale	103
d. Le revenu global (valeur de la production)	105
e. Coûts total de production	105
f. Revenu net	106
4.5 MODELISATION AU NIVEAU FERME ET COMPARAISON FERMES ET CERCLE DE Koutiala	108
4.5.1 Caractéristiques des principaux types de ferme dans le cercle de Koutiala	108
4.5.2. Conditions de prix	108
4.5.3. Formulation d'une stratégie de gestion durable de la ferme . .	109
a. Choix des objectifs de production et de fonction objectif à optimiser	109
b. Contraintes	109
c. Aspects économiques	110
4.5.4 Résultats du modèle pour la ferme de type A et comparaison fermes et cercle de Koutiala	113
4.5.4.1. Résultats au niveau ferme de type A	113
4.5.4.2. Résultats du modèle UP_A et situation actuelle UP_A	122
4.5.4.3. Comparaison des fermes agrégées et du cercle de Koutiala	122
4.5.5 Conclusion	127

5. CONCLUSIONS GENERALES	128
5.1 OUTIL D'ELABORATION ET D'ANALYSE DES STRATEGIES DE DEVELOPPEMENT	128
5.2 OUTIL DE GESTION OPTIMALE DES RESSOURCES NATURELLES	128
5.3 OUTIL DE PREDICTION DE LA VALEUR DES DIFFERENTS OBJECTIFS SELON LA STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DEFINIE	129
Politique de prix	129
Circuits de commercialisation des extrants	129
Politique adéquate de crédit agricole pour un meilleur approvisionnement en intrants	129
Politique foncière appropriée	130
Politiques de subventions	130
 BIBLIOGRAPHIE	 131
 ANNEXES	 132

1. INTRODUCTION

1.1. PRESENTATION 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 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 recherche en agro-Biologie et Fertilité du sol,
- UAW (Université Agronomique de Wageningen: Département Aménagement de la nature et Département Economie du Développement).

Approche méthodologique générale: La zone d'étude cible du projet est la zone soudano-sahélienne limitée respectivement au Nord et au Sud par les isohyètes 300 et 900 mm/an 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 une 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).

Objectifs

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 ;

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.

Dans le domaine de la production fourragère

Les activités de recherche concerne l'optimisation quantitative de l'utilisation des entrants externes (azotés et phosphatés) dans le système **SOL-PLANTE** (taux de recouvrement).

Dans le domaine de l'exploitation fourragère (nutrition animale)

La recherche 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**.

En modélisation des systèmes

Les activités de recherche 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).

1.2. OBJECTIFS DE L'EQUIPE MODELISATION DES SYSTEMES (EMS)

Les objectifs spécifiques de cette équipe sont:

- Etudier 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.

1.3. METHODOLOGIE GENERALE DE L'EMS

La méthodologie adoptée par l'équipe modélisation des systèmes pour atteindre les objectifs de recherche, 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)

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; et
- d'autre part 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, région, petite région: cercle) 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 (cultures et élevage) définies et décrites 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,**
- **Identifier les objectifs et définir des stratégies de développement.**

Tableau 1.1.1: *Les différentes étapes de la méthodologie générale de recherche de l'EMS*

a/ RESSOURCES (climat, sols, population..): description à différents niveaux:

- ressources région soudano-sahélienne
- ressources cercle de Koutiala,
- ressources ferme

b/ ACTIVITES: 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...).

c/MODELISATION: 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
-

N.B:

(a) Description des ressources:

Types de sols (qualité et quantité), climat
ressources animales, ressources humaines
(population et main-d'oeuvre),
(zones pluviométriques).

(b) La méthodologie de définition/description

quantitative et d'analyse économique
partielle des activités est développée
dans le chapitre III.

(c) Elaboration du modèle PLBM et analyses:

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, l'identification des
objectifs ainsi que les analyses se feront à
chaque niveau.

2. RESSOURCES DISPONIBLES EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE

Il est important de préciser au préalable le contenu que l'on donne au mot ressource c'est-à-dire qu'est-ce que c'est qu'une ressource ?

Une ressource dans une définition assez simple peut être un moyen de production et dans ce cas la terre, la main-d'oeuvre et le capital sont des ressources (ressources en sols, ressources humaines ressources financières). Dans le présent document nous traiterons surtout les ressources (population, sols, climat) qui sont utilisées pour le fonctionnement du modèle.

En agriculture on peut considérer le climat comme ressource, bien que "Climat" est une notion trop large pour un moyen de production. Cette considération est faite parce que les éléments climatiques fournissent ou agissent sur la disponibilité en eau, qui est un des principaux moyens de production dans l'agriculture. Les éléments climatiques créent aussi un environnement plus ou moins favorable pour la production végétale.

Dans la description des ressources, il faut donc distinguer deux types de ressources:

- les ressources naturelles (souvent disponibles gratuitement) et
- les ressources dérivées.

Nous considérons comme ressource gratuite ou naturelle les moyens de production qui sont disponibles sans coûts et dont la disponibilité ne subit pas les décisions prises par l'homme. La terre, le climat et l'eau (souterraine et en surface) font partie de ce type de ressource. Le deuxième type (ressource dérivé) dépend des ressources naturelles et est fortement dépendant des décisions prises par l'homme. Par exemple une forêt classée est une ressource dérivée parce qu'elle peut être protégée ou transformée en champ agricole ou en ville/village sous la décision de l'homme.

Cette distinction peut sembler inutile, mais il est important de la faire dans le cadre de l'utilisation du modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM). Car les quantités de ressources naturelles disponibles sont considérées comme intrants fixes du modèle, tandis que les quantités de ressources dérivées sont considérées pour la plupart comme extrants du modèle.

Dans cette distinction il y a tout de même la décision du modéleur qui est déterminante concernant ce qu'il estime comme variable ou non variable (toujours dans un certain délai de temps).

2.1 METHODOLOGIE DE DECOUPAGE DE LA ZONE EN UNITES SOLS/CLIMATS HOMOGENES DENOMMEES SOUS/ZONES

La zone d'étude cible correspond à la région soudano-sahélienne du Mali comprise entre les isohyètes de 300 mm et 900 mm. Cette délimitation n'a pas été stricte car la région a été étendue au Nord jusqu'à quelques kilomètres au Nord et à l'Est du fleuve Niger (Cercle de Bourem).

Pourquoi le choix de la zone soudano-sahélienne comme zone d'étude ? Selon les études menées par H. Breman, c'est la zone où la surexploitation des ressources est la plus accentuée. C'est la zone de transition entre le désert et le Sud agricole par laquelle donc s'effectue l'avancée du désert. C'est donc une zone dans laquelle la gestion des ressources naturelles doit être l'une des premières priorités.

Rappelons que l'un des objectifs de recherche de l'Equipe Modélisation des Systèmes est d'explorer et d'analyser les possibilités d'optimiser l'utilisation des ressources de la zone d'étude. Cette zone est vaste et il y a des grandes variations en climats (surtout: pluviométrie), sols, eaux et population. C'est pourquoi, elle ne sera pas traitée comme une entité, mais plutôt subdivisée en unités **SOLS/CLIMATS** assez homogènes.

Il y a plusieurs raisons pour faire un sous-zonage. La raison la plus importante est que les possibilités de l'agriculture et de l'élevage dépendent fortement de la pluviométrie et des types de sols. Ces possibilités d'utilisation des ressources sont décrites dans les pièces maîtresses du modèle PLBM: les tableaux intrants/extrants des activités. Une activité, (de culture, d'élevage) est brièvement définie comme une technique de production appliquée dans un environnement donné. Ainsi une technique de production exécutée dans deux environnements (climat et sol) différents aura deux tableaux intrants/extrants différents. Les activités qui sont les pièces maîtresses du modèle PLBM sont alors dépendantes de l'environnement et par conséquent elles doivent être localisées. Ainsi chaque activité de culture sera considérée comme étant pratiquée dans une sous-zone donnée correspondant à une combinaison **SOL/CLIMAT**. Les principaux critères utilisés pour la subdivision sont:

- les isohyètes (c'est-à-dire le climat)
- les unités agro-pédologiques
- et le découpage administratif (limites administratives des grandes régions du Mali)

Le choix des isohyètes et des unités agro-pédologiques comme critères de subdivision permet d'obtenir des sous-zones correspondantes à des combinaisons **SOL/CLIMAT** homogènes. Le critère administratif a été utilisé pour garder les régions correspondants aux grands ensembles administratifs du Mali pour faciliter la collecte des données statistiques. Le climat a été choisi comme critère principal de sous-zonage car il change graduellement du Nord au Sud. Il est possible de créer des sous-zones climatologiquement homogènes, tandis que les sols sont répartis de manière plus hétérogène dans la zone soudano-sahélienne. Un effort est fait cependant de suivre les limites des zones agro-écologiques distinguées par le PIRT (PIRT, 1986) autant que possible, en fonction de l'homogénéité des unités agro-pédologiques. Le critère administratif a été considéré pour le découpage de la zone d'étude car ceci rend possible certaines conditions particulières aux sous-zones par exemple l'autosuffisance alimentaire ou la migration de la main-d'oeuvre et facilite la collecte de données statistiques.

Le découpage selon le climat nous donnait des limites horizontales des sous-zones orientées d'Ouest à l'Est tandis que les limites administratives sont verticales et vont du Nord au Sud.

La carte en annexe et le tableau 3.1.1 présentent la délimitation des différentes sous-zones dans la zone d'étude.

Tableau 2.1.1: *Répartition de la zone d'étude en sous-zones par région administrative du Mali.*

	Kayes	Koulikoro	Ségou	Mopti	Koutiala Yorosso	Tombouctou Ouest	Tombouctou Est + Gao
1						3,0	3,1
2							3,2
3	1,1	2,1		3,3			
4	1,2	2,2		3,4			
5	1,3	2,3	3,5				
6		2,4	3,6				
7					3,7		

Pour le présent document sur la description des ressources en zone soudano-sahélienne, nous allons axer le travail surtout sur les ressources humaines, le climat ainsi que les types de sols; qui correspondent aux ressources utilisées pour les analyses avec le modèle. Les autres ressources seront sommairement décrites (ressources animales, ressources ligneuses et ressources en eau ...).

2.2 RESSOURCES HUMAINES: POPULATION ET MAIN-D'OEUVRE

La disponibilité de main-d'oeuvre pour les activités d'agriculture et d'élevage dans chacune des sous/zones définies dépend de beaucoup de la population totale par sous/zone.

La zone Soudano-Sahélienne du Mali compte en 1987 une population de 5 315 348 habitants (BCR, DNSI, 1991) soit 69 % de la population totale du Mali. Il est à noter que cette population est inégalement répartie entre les différentes sous/zones.

L'analyse de la structure de la population montre que d'une manière générale la population de cette zone est dominée par catégorie d'âge de 15-60 ans avec 49 %.

La répartition de la population par sous/zone (tableau 2.2.1) montre que les sous zones 12, 13, 14 et 15 ont les populations les plus importantes avec respectivement 10 %, 11 %, 12 % et 13 % de la population totale de la zone soudano-sahélienne.

Tableau 2.2.1: *Population de la zone soudano-sahélienne du Mali par sous/zone et par groupe d'âge (1987)*

Sous-zone	0-7 ans	8-14 ans	15-60 ans	Plus de 60 ans	Plus de 60 ans	Population totale	Densité (hbt/km ²)
				FEMME	HOMME		
1.1	84 776	47 363	138 665	7 326	7 497	285 627	12
1.2	93 304	52 767	155 246	7 827	8 011	317 155	13
1.3	68 375	37 925	110 700	6 009	6 149	229 158	8
2.1	30 301	16 894	49 413	2 631	2 693	101 932	4
2.2	45 458	25 790	75 972	3 784	3 873	154 877	7
2.3	51 843	28 940	84 697	4 486	4 592	174 558	9
2.4	111 290	62 182	182 054	9 612	9 839	374 977	28
3.0	88 718	49 728	145 771	7 606	7 785	299 608	10
3.1	84 927	48 643	143 848	6 902	7 064	291 384	5
3.2	60 425	33 734	98 730	5 231	5 353	203 473	3
3.3	98 945	55 085	161 040	8 619	8 822	332 511	9
3.4	242 712	136 377	400 197	20 687	21 172	821 145	24
3.5	218 376	132 267	362 404	18 406	18 839	741 292	30
3.6	170 570	95 308	279 046	14 731	15 078	574 733	31
3.7	121 832	68 649	201 681	10 313	10 555	413 030	28

Source: BCR, DNSI 1991

2.3 CLIMAT ET RESSOURCES EN SOLS

Les données climatologiques de 30 années (1961 - 1990) de la Direction Nationale de la Météorologie ont été utilisées. Il y a 13 Stations synoptiques et Stations pluviométriques qui ont été considérés au total. L'estimation de la pluviométrie moyenne a été faite par sous/zone en considérant les stations localisées dans cette sous/zone.

D'une manière générale 14 substrats ont été identifié en zone soudano-sahélienne, parmi lesquels 12 types de sols et 2 substrats supplémentaires représentant l'eau et les roches (INAPT). Ces types de sols ont été décrits sur la base de la description FAO/UNESCO et de celle du PIRT. Les principales caractéristiques de ces types de sols (texture, granulométrie, pH, Taux de matière organique, etc...) ont été spécifiées (tableau). Les noms des substrats et leurs superficies respectives sont présentées au tableau... ci-dessous.

Tableau 2.3.1: *Substrats PSS retenus avec leur code et correspondance aux substrats PIRT*

Substrat PSS	Code	Substrat PIRT	Superficie totale	
			(100 km ²)	%
Inondable argileux	IN_aR	TI 1-3, 5, 6	204	5
Inondable limoneux	IN_li	TI 4, 7	46	1
Superficiel	SU	TR 5,6	88	2
Superficiel incliné	SU_inc	TR 3	46	1
Gravillonnaire	GR	TC 1-4, 6; TR 1, 2 4 7 8	751	16
Gravillonnaire superficiel	GR_su	TC 5; TR 9	122	3
Sable	SA	D 1-4	517	11
Sable limoneux	SALI	D 5-7	331	7
Limon sableux; couche supérieure grossière	LISA_g	DA 1-5	629	13
Limon sableux; couche supérieure fine	LISA_f	PL 1,2,4-6; PS 1,3; TC 7; TH 5	623	14
Limon	LI	PL 7,8; PS 2; X 1	84	2
Limon argileux	LIAR	PL 3,9-13; PA 1-3; TH 1-4,6-8	664	15
Roche ou reg	INAPT	X 2-5	390	9
Eau	EAU	X 6	25	1
Total zone soudano-sahélienne	-	-	4 520	100

Les autres caractéristiques des substrats seront détaillées dans le rapport de recherche sur la description des ressources en zone soudano-sahélienne.

L'importance de ces substrats par sous/zone ainsi que l'importance des zones agro-écologiques par sous/zone seront précisées dans la description des potentialités agro-écologiques des sous/zones (tableau 2.3.1)

Sol	Texture du sous-sol			Gravillon	Teneur en eau		Eau utile mm/m
	sable	limon	argile		cap.champ	point fletris.	
	%	%	%		mm/m	mm/m	
IN_ar	11	50	39	0	463	223	240
IN_li	52	35	13	0	263	79	184
SU	10	45	45	0	469	256	213
SU_inc	10	58	33	0	469	188	281
GR	43	34	23	43	166	70	96
GR_su	43	43	15	75	77	24	53
SA	93	3	5	0	64	38	27
SALI	80	13	8	0	126	52	74
LISA_g	63	28	10	0	211	64	147
LISA_f	58	17	24	0	230	144	86
LI	22	56	22	0	408	130	278
LIAR	22	46	33	0	412	188	224

Tableau 2.3.3 Granulométrie retenue pour les classes texturales

Texture	abréviation	sable	limon	argile	sable fin	limon fin
		%	%	%	%	%
argile	A	20	20	60	10	8
argile limoneux	AL	5	48	48	3	2
limon	L	43	43	15	22	16
limon argileux	LA	33	35	33	17	12
limon argilo-sableux	LAS	58	15	28	29	22
limon limoneux	LL	20	63	18	10	8
limon limono-argileux	LLA	10	58	33	5	4
limon sableux	LS	63	28	10	32	24
sable	S	93	3	5	47	35
sable limoneux	SL	80	13	8	41	30

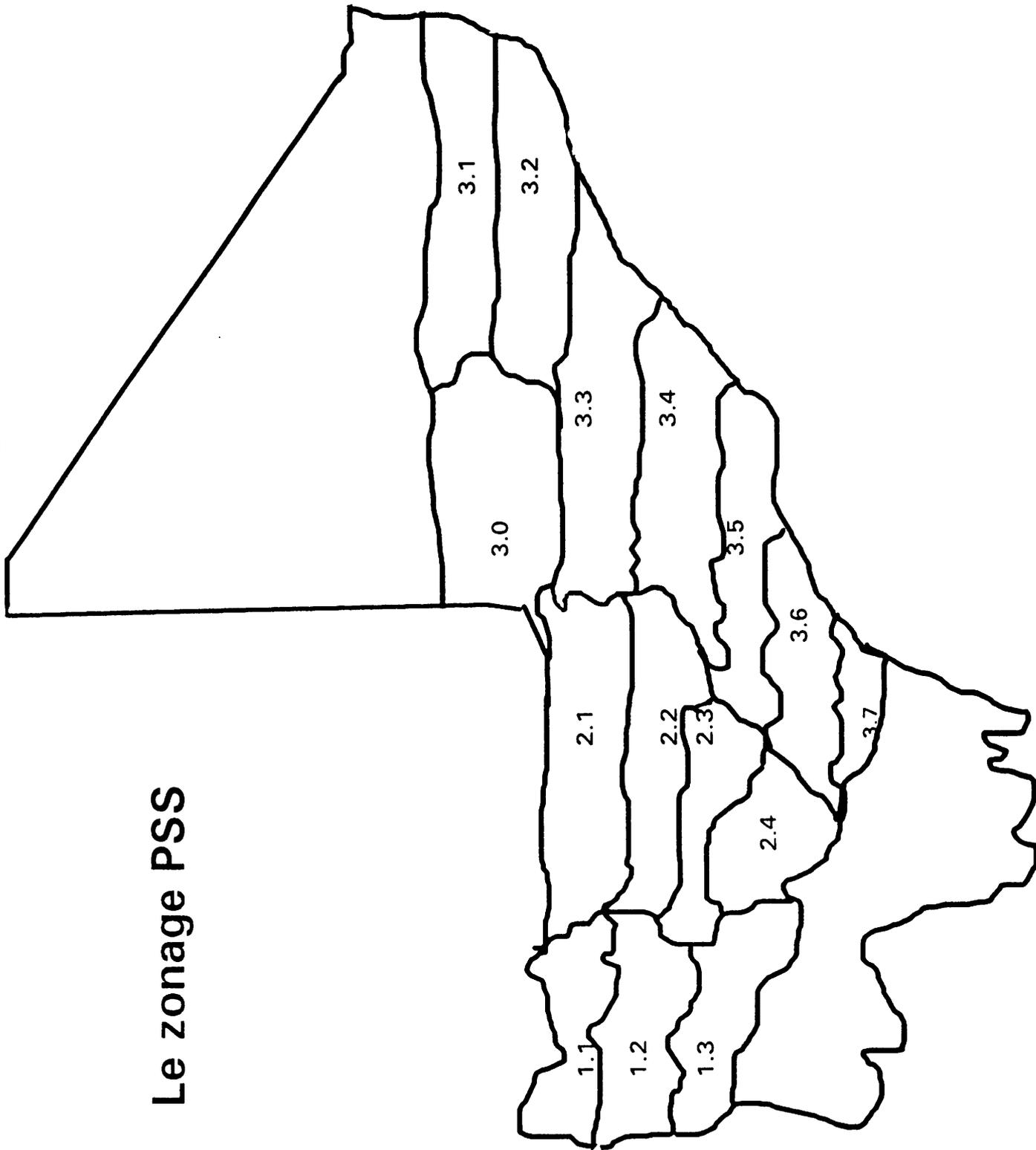
Tableau 2.3.4 Caractéristiques variables des sols PSS retenus

Sol	Taux de matière organique à maintenir			pH	
	Pieri	Feller (végétation naturelle)	Feller (culture)	couche supérieure	sous sol
	%	%	%		
IN_ar	7.2	3.8	2.3	5.2	5.7
IN_li	4.3	2.4	1.5	6.0	6.0
SU	4.9	2.7	1.6	6.8	7.5
SU_inc	5.2	2.8	1.7	7.0	7.0
GR	3.6	2.0	1.3	5.8	5.5
GR_su	5.2	2.8	1.7	5.3	6.3
SA	0.7	0.6	0.5	6.5	7.0
SALI	1.8	1.2	0.8	5.9	5.7
LISA_g	1.8	1.2	0.8	6.4	6.6
LISA_f	3.4	1.9	1.2	6.2	5.8
LI	5.5	2.9	1.8	6.2	5.4
LIAR	5.1	2.9	1.8	6.2	6.2

Tableau 2.3.5 Caractéristiques dérivées et secondaires des sols PSS retenus

Sol	perméabilité selon Wischmeier	structure selon Wischmeier	profondeur cm	pente %	P-facteur contouring	longueur maximale du champ m	perte de terre tolérée t/ha/an	stock minérale		P Fixation *
								P	K	
								mg/kg	mg/kg	
IN_ar	5.5	3.0	200	1	0.6	120	10	125	100	M
IN_li	2.0	3.5	200	0	1.0	10000	10	125	100	F
SU	5.0	2.0	75	4	0.5	90	3	100	50	M
SU_inc	5.0	2.5	38	38	1.0	12	2	100	50	F
GR	4.0	3.0	44	3	0.5	90	2	100	50	M
GR_su	4.0	2.0	18	4	0.5	90	1	100	50	F
SA	1.0	3.5	200	10	0.8	20	10	100	50	F
SALI	1.0	3.5	200	10	0.8	20	10	100	50	F
LISA_g	3.0	4.0	200	5	0.5	90	10	100	50	F
LISA_f	3.2	3.5	200	2	0.6	120	10	110	75	M
LI	4.0	3.5	200	3	0.5	90	10	100	75	M
LIAR	4.6	3.0	200	2	0.6	120	10	125	100	M

Le zonage PSS



2.3.1 Description agro-écologiques des unités Sols/Climat homogènes (sous/zones) en zone soudano-sahélienne

Les unités Sols/Climats définies correspondent à des unités agro-écologiques ayant un climat donné (pluviométrie moyenne) localisés dans des régions naturelles et zones agro-écologiques données, avec des caractéristiques de sols spécifiques.

Sous/Zone 1.1

Elle est localisée au Nord de la région de Kayes (Nord des cercles de Nioro et de Yélimané) avec une pluviométrie moyenne de 473 mm/an et une superficie totale de 23 135 Km².

Elle couvre tout ou partie des zones agro-écologiques du Beredji (G1) et du Sero (G2) respectivement, situés dans la région naturelle du GUIDIMAGHA, ainsi que le Mamanan guindé, le Toronké, et 32 % du Bas Kaarta qui sont des zones agro-écologiques situées dans la région naturelle du HODH.

Ce sont les sols limon-argileux (LiAR) et limon-sableux grossiers (Lisa_g) qui sont prédominants. Ils sont suivis par les sols gravillonnaires (GR) 16 % et les sols superficiels 15 %. Les substrats inondables limoneux (IN_Li), gravillonnaires superficiels (GR_su), sable et l'eau sont inexistantes en sous/zone 1.1. Les autres substrats font chacune moins de 10 % de la superficie totale de la sous/zone.

Sous/Zone 1.2

Elle est aussi localisée dans la partie Nord de la région de Kayes (Cercles de Diéma et Kayes), avec une pluviométrie moyenne de 621 mm/an et une superficie de 24 896 km².

Elle couvre la zone agro-écologique du Sero située dans la région naturelle du GUIDIMAGHA et s'étend dans la région naturelle du HODH où elle couvre les zones écologiques du Mamanan guindé, du Bas Kaarta et du Haut Kaarta occidental. Elle ne couvre qu'une petite partie (12 %) du Bélédougou situé dans la région naturelle du Plateau Mandingue.

Le sol limon-argileux (LiAR) est le substrat le plus important de la sous/zone 1.2 avec 41 % de la superficie totale. Il est suivi du sol gravillonnaire (GR) qui représente 22 %. Les sols limon-sableux grossiers et superficiels 10 et 11 %, les sols sableux fins et superficiel incliné 7 et 8 %. Les autres substrats sont très faiblement ou pas du tout représentés dans cette sous/zone.

Sous/Zone 1.3

Elle est localisée au centre de la région de Kayes (Cercles de Kayes, Bafoulabé, Kita); avec une superficie de 27 208 km² et une pluviométrie moyenne de 741 mm/an. Elle couvre la totalité de la Falémé Nord et 50 % du Haut Kaarta occidental située dans la région naturelle du HODH. Elle s'étend sur le plateau mandingue où elle couvre la totalité des zones agro-écologiques du Tambaoura, du Bambouk et du Fouladougou. Le Wénia et le Bélédougou représentent respectivement 18 % et 23 %. Les substrats dominants sont les sols limon-

argileux et gravillonnaire qui représentent 24 % et 38 % de la superficie totale.

Sous/zone 2.1

Elle est localisée à l'extrême Nord des régions de Koulikoro et de Ségou avec une superficie de 25 825 km² et une pluviométrie moyenne de 396 mm/an. La zone agro-écologique principale est le Ouagadou dans la région naturelle du HODH; qui couvre 93 % de la superficie totale de la sous/zone. Les substrats dominants sont les sols sable limoneux (36 %), limon sableux grossiers (25 %) et limon sableux fin (22 %).

Sous/zone 2.2

Elle est localisée au centre de la région de Koulikoro et s'étend un peu à l'Est dans la région de Ségou, avec une superficie de 21 752 km² et une pluviométrie moyenne de 445 mm/an. Les zones agro-écologiques principales sont: le Delta Mort Occidental situé dans le delta central du fleuve Niger, ainsi que le Bas Kaarta et Tyemandali situés dans le HODH. Les types de sols dominants sont les sols limon sableux grossiers (Lisa_g) et sable limon (SA_li).

Sous/zone 2.3

Elle est localisée au centre de la région de Koulikoro avec une superficie de 20 465 km² et une pluviométrie moyenne de 550 mm/an. Les principales zones agro-écologiques sont le Tyemandali dans le HODH et le Bélédougou dans le Plateau Mandingue. Les principaux substrats sont les sols gravillonnaires (GR), limon sableux grossiers (Lisa_g) et limon argileux (LiAR).

Sous/zone 2.4

Elle est localisée au Sud de la région de Koulikoro avec une superficie de 13 616 km² et une pluviométrie moyenne de 741 mm/an. Le Wénia et le Bélédougou sont les zones agro-écologiques dominantes, situées sur le plateau Mandingue. Le Moyen Bani Niger situé dans le Delta Central du fleuve Niger ne représente que 5 % de cette sous/zone. Les principaux substrats sont les sols gravillonnaires, limon argileux, limon et limon sableux fin.

Sous/zone 3.0

Elle est localisée au Sud-Ouest de la région de Tombouctou avec une superficie de 30 128 km² et une pluviométrie moyenne de 188 mm/an. Les zones agro-écologiques qui prédominent dans cette sous/zone sont les Daounas situés dans le HODH et la zone lacustre situé dans le Delta Central du fleuve Niger. Les principaux substrats sont les sols limon-argileux (LiAR), limon sableux grossier (Lisa_g), sable limoneux (SA_Li) et sable (SA).

Sous/zone 3.1

Elle est localisée à l'Est de la région de Tombouctou s'étend dans la région de Gao, avec une superficie de 38 156 km² et une pluviométrie moyenne de 155 mm/an, la principale zone agro-écologique est le Minkiri situé dans l'Aklé Azaouad, suivie par le Ganderas et le Tin bilal situés dans le Gourma, ainsi que l'Abourak situé dans le Tilemsi.

Sous/zone 3.2

Elle est localisée au Sud des régions de Tombouctou et de Gao, avec une superficie de 44 850 km² et une pluviométrie moyenne de 250 mm/an. Les zones agro-écologiques dominantes sont le In Tillit (61 %) et Tin bilal (18 %) situées dans le Gourma, ainsi que l'Abourak (12 %) situé dans le Tilemsi. Le sable constitue le principal substrat, suivis par les sols limon sableux fins et gravillonnaires. Le substrat INAPT (roche) est aussi non moins important dans cette sous/zone avec 19 % de la superficie totale.

Sous/zone 3.3

Elle est localisée au Sud de la Région de Mopti avec une superficie de 35 427 km² et une pluviométrie moyenne de 385 mm/an. Les principales zones agro-écologiques sont le Dyondé sur le plateau de Bandiagara-Hombori, le Mondoro dans le Gondo-Mondoro, ainsi que le Delta vif, le Delta mort occidental et la zone lacustre dans la région naturelle du Delta Central du fleuve Niger. Les sols dominants sont les sols gravillonnaires, limon argileux, sable limoneux et inondable argileux. Le substrat INAPT (roche) représente 6 % de la superficie de la sous/zone.

Sous/zone 3.4

Elle est localisée au centre de la région de Mopti et s'étend à l'Ouest sur l'extrémité-Est de la région de Ségou (Cercle de Macina). Elle couvre une superficie de 34 229 km² avec une pluviométrie moyenne de 451 mm/an. Les principales zones agro-écologiques de cette sous/zone sont: le Haut plateau Dogon, le Delta vif, le Delta mort occidental et le Séno. Les substrats dominants sont les sols inondables argileux, gravillonnaire, limon sableux grossiers et limon sableux fins.

Sous/zone 3.5

Elle est localisée au Nord de la région de Ségou et s'étale sur l'extrémité Sud de la région de Mopti (Cercle de Djenné) avec une superficie de 25 059 km² et une pluviométrie moyenne de 585 mm/an. Les principales zones agro-écologiques sont le Moyen Bani Niger, le Bas plateau Bobo et la plaine du Sourou. Les substrats dominants sont les sols limon sableux fins et limon argileux.

Sous/zone 3.6

Elle est localisée dans l'extrême Sud de la région de Ségou avec une superficie de 18 276 km² et une pluviométrie moyenne de 747 mm/an. La zone agro-écologique prédominante est le Falô situé sur le plateau de Koutiala et qui détient à elle seule 66 % de la superficie totale de la zone. Elle est suivie par le Moyen Bani Niger, le Bas Plateau Bobo et le Moyen Bani Occidental. Les principaux substrats sont les sols limons sableux fins, gravillonnaire, gravillonnaire superficiel et limon argileux.

Sous/zone 3.7

Elle est localisée dans l'extrême Nord de la région de Sikasso à la limite même de la zone soudano-sahélienne. Elle couvre le Cercle de Yorosso ainsi que le Cercle de Koutiala (qui fera l'objet d'étude de cas). Sa superficie totale est de 14 990 km² avec une pluviométrie moyenne de 877 mm/an. Les zones agro-écologiques de cette sous/zone sont le Moyen Bani Oriental qui représente 74 % de la superficie de la sous/zone, le Falo, (24 %) et le Kéné Dougou (2 %) qui sont tous localisés sur le plateau de Koutiala.

Tableau 2.3.6: *Caractéristiques agro-écologiques des unités SOLS/CLIMATS (sous/zones en zone soudano-sahélienne)*

SOUS/ ZONES	Localisation	Superficie (km ²)	Pluviométrie moyenne (mm/an)	REGIONS NATURELLES ET ZONES AGRO-ÉCOLOGIQUES	PRINCIPAUX SUBSTRATS
1.1	Région de Kayes	23 135	473	GUIDIMAGHA • Le Beredji • Le Sero HODH • Le Mamanan guindé • Le Toronké • Le Bas Kaarta	Sol Limon argileux (Li-AR) 29 % Sol Limon sableux grossier (Lisa_g) 22 % Sol gravillonnaire (GR) 16 % Sol superficiel (SU) 15 % Autres substrats 18 %
1.2	Région de Kayes	24 826	621	GUIDIMAGHA • Le Sero HODH • Le Mamanan guindé • Bas Kaarta • Haut Kaarta occidental	Sol Limon argileux (Li-AR) 41 % Sol gravillonnaire (GR) 22 % Sol superficiel (SU) 11 % Sol Limon sableux grossier (Lisa_g) 10 % Autres substrats 16 %
1.3	Région de Kayes	27 208	741	PLATEAU MANDINGUE • Bélé Dougou FALÈME • La Fatémé Nord HODH • Haut Kaarta occidental PLATEAU MANDINGUE • Le Tambaoura • Le Bambouk • Le Wénia • Le Bélé Dougou • Le Fouladougou	Sol gravillonnaire (GR) 38 % Sol limon argileux (LiAR) 24 % Sol limon sableux fin (Lisa_f) 9 % Sol superficiel (SU) 8 % Sol Limon sableux grossier (Lisa_g) 21 %

Tableau 2.3.6: *Caractéristiques agro-écologiques des unités SOLS/CLIMATS (sous/zones en zone soudano-sahélienne) (Suite)*

SOUS/ ZONES	Localisation	Superficie (km ²)	Pluviométrie moyenne (mm/an)	REGIONS NATURELLES ET ZONES AGRO-ÉCOLOGIQUES	PRINCIPAUX SUBSTRATS
2.1	Région de Koulikoro et de Ségou	25 828	396	HODH • Bas Kaarta • Ouagadou • Tyemandali	Sols sable Limoneux (SA-li) Sol Limon sableux grossiers (Lisa-g) 36 % Sol Limon sableux fins (Lisa-f) 25 % Sol argileux (Liar) 10 % Autres substrats 7 %
2.2	Région de Koulikoro et de Ségou	21 752	445	DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER • Delta mort occidental (D3) HODH • Bas Kaarta (H3) • Ouagadou (H5) • Tyemandali (H6)	Sol Limon grossiers (Lisa-g) 39 % Sol limoneux (SA-li) 24 % Limon argileux (Liar) 10 % Limon (Li) 9 % Autres substrats 18 %
2.3	Région de Koulikoro	20 465	550	HODH • Tyemandali (H6) PLATEAU MANDINGUE • Bélé Dougou (PM6)	Sol gravillonnaire (GR) 30 % Sol limon sableux grossiers (LiAR_g) 26 % Sol limon sableux argileux (Liar) 24 % Sol sableux limoneux (SA-li) 11 % Sol Limon sableux grossier (Lisa_g) 21 % Autres substrats 9 %
2.4	Région de Koulikoro	13 616	741	DELTA CENTRAL DU NIGER • Moyen Bani Niger (D3) PLATEAU MANDINGUE • Wénia (PM5) • Bélé Dougou (PM6)	Sols gravillonnaires (GR) 16 % Limon argileux (Liar) 17 % Limon (li) 12 % Limon sableux fin (Lisa-f) 11 % Gravillonnaire superficiel (Gr-S0) 4 % Autres substrats 4 %

Tableau 2.3.6: Caractéristiques agro-écologiques des unités SOLS/CLIMATS (sous/zones en zone soudano-sahélienne) (Suite)

SOUS/ ZONES	Localisation	Superficie (km ²)	Pluviométrie moyenne (mm/an)	RÉGIONS NATURELLES ET ZONES AGRO-ÉCOLOGIQUES	PRINCIPAUX SUBSTRATS
3.0	Région de Tombouctou	30 128	188	<p>AKLE AZAOUAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le Minkiri <p>DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zone lacustre <p>HODH</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les Daounas 	<p>Sols sable Limone-argileux (Liar) 20 %</p> <p>Sol Limon sableux grossiers (Lisa-g) 20 %</p> <p>Sol Limon limoneux (SA-li) 17 %</p> <p>Sable 18 %</p> <p>Inondable argileux 8 %</p> <p>Autres substrats 17 %</p>
3.1	Région de Gao et de Tombouctou	38 516	155	<p>AKLE AZAOUAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le Minkiri <p>GOURMIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ganderas • Tin Billal <p>TILEMSI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vallée du Tilemsi • Abourak • Kounta 	<p>Sols sable (SA) 26 %</p> <p>Sol limon-sableux fins (Lisa-f) 17 %</p> <p>Limons-sableux grossiers 16 %</p> <p>Gravillonnaire 8 %</p> <p>Substrats INAPT (roche) 25 %</p> <p>Autres substrats 8 %</p>
3.2	Région de Gao et de Tombouctou	44 850	250	<p>GOURMIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ganderas • Tin Billal • Tin Tillit <p>TILEMSI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abourak 	<p>Sols sable (SA) 39 %</p> <p>Sol limon sableux fins (Lisa-f) 15 %</p> <p>Gravillonnaire (GR) 12 %</p> <p>Sol Limon-sableux grossiers (Lisa-g) 11 %</p> <p>Substrat INAPT (roche) 19 %</p> <p>Autres substrats 4 %</p>

Tableau 2.3.6: *Caractéristiques agro-écologiques des unités SOLS/CLIMATS (sous/zones en zone soudano-sahélienne) (Suite)*

SOUS/ ZONES	Localisation	Superficie (km ²)	Pluviométrie moyenne (mm/an)	REGIONS NATURELLES ET ZONES AGRO-ÉCOLOGIQUES	PRINCIPAUX SUBSTRATS
3.3	Région de Mopti	35 427	385	<p>PLATEAU DE BADIANGARA-HOMBORI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Haut plateau Dogon (D1) 6 % • Dyondé 30 % <p>DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Delta vif (D1) 13 % • Delta mort occidental (D3) 12 % • Delta mort occidental (D4) 11 % <p>GONDO-MONDORO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le Mondoro (GM4) 26 % 	<p>Sols gravillonnaires (GR) 26 %</p> <p>Limons argileux (Liar) 20 %</p> <p>Sables limoneux (Sa-li) 19 %</p> <p>Inondable argileux (IN-ar) 11 %</p> <p>Substrat INAPT (Roche) 6 %</p> <p>Autres substrats 18 %</p>
3.4	Régions de Mopti et Ségou	34 229	451	<p>PLATEAU DE BADIANGARA-HOMBORI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bas plateau Bobo (BH1) 2 % • Haut plateau Dogon (BH2) 20 % <p>DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Delta vif (D1) 34 % • Delta mort (D3) 12 % <p>GONDO MONDORO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plaine du Gondo (GM1) 11 % • Plaine du Sourouental (GM2) 15 % • Séno (GM3) 15 % 	<p>Sols inondable-argileux (In-ar) 52 %</p> <p>Gravillonnaire (GR) 17 %</p> <p>Limons sableux grossiers (Lisa-g) 17 %</p> <p>Limons sableux fins (Lisa-f) 17 %</p>

Tableau 2.3.6: *Caractéristiques agro-écologiques des unités SOLS/CLIMATS (sous/zones en zone soudano-sahélienne)*

SOUS/ ZONES	Localisation	Superficie (km ²)	Pluviométrie moyenne (mm/an)	REGIONS NATURELLES ET ZONES AGRO-ÉCOLOGIQUES	PRINCIPAUX SUBSTRATS
3.5	Région de Ségou et de Mopti	25 059	585	<p>PLATEAU DE BADIANGARA-HOMBORI • Bas plateau Bobo (BH1) 21 %</p> <p>DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER • Delta vif (D1) 9 % • Moyen Bani Niger (D2) 46 %</p> <p>GONDO-MONORO • Plaine du Gondo (GM1) 5 % • Plaine du Souro (GM2) 14 %</p> <p>HODH • Tyemandali (H6) 5 %</p>	<p>Sols sable Limoneux fis (Lisa-f) 32 % Limon argileux (Liar) 25 % Limon sableux grossiers (Lisa-g) 9 % Gravillonnaire (Gr) 9 % Inondable argileux (IN-ar) 8 % Autres substrats</p>
3.6	Région de Ségou	18 276	747	<p>PLATEAU DE BADIANGARA-HOMBORI • Bas plateau Bobo (BH1) 7 %</p> <p>DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER • Moyen Bani occidental (PK3) 9 % • Falo (PK4) 66 %</p>	<p>Sol Limon sableux fin 36 % Gravillonnaire (GR) 22 % Gravillonnaire superficiel (GR-su) 17 % Limon argileux (Liar) 12 % Autres substrats 13 %</p>
3.7	Région de Sikasso (Cercles de Koutiala et de Yorosso)	14 990	877	<p>PLATEAU DE KOUTIALA • Kéné Dougou 2 % • Moyen Bani occidental 74 % • Falo 24 %</p>	<p>Sol gravillonnaire superficiel (GR-su) 31 % Limon sableux fin (Lisa-f) 28 % Gravillonnaire 24 % Autres substrats 17 %</p>

2.4 LES AUTRES RESSOURCES

2.4.1 Ressources animales

La répartition du cheptel par espèce et par sous zone montre une certaine homogénéité concernant les Bovins, Ovins/Caprins, Equins et Asins. Quant aux Camelins et Porcins, leur importance numérique varie selon les sous/zones. En effet c'est dans les sous/zones 30, 31 32 et 33 (Régions de Mopti, Gao et Tombouctou) que le nombre de camelins est assez important. Et concernant les porcins leur importance numérique est surtout dans les sous zones 24, 35, 36 et 37 (Région de Ségou).

Tableau 2.4.1: *Importance du Cheptel par espèce et par sous zone.*

SOUS/ ZONE	Bovin	Ovin	Caprin	Equin	Asin	Camelin	Porcin
1.1	258 296	144 368	208 723	13 424	33 888	13	0
1.2	204 825	74 954	106 139	9 314	18 538	18	28
1.3	125 290	40 979	68 451	1 519	8 880	15	38
2.1	75 703	63 725	87 604	2 975	14 085	213	0
2.2	91 769	71 713	89 748	3 339	13 784	23	16
2.3	155 365	165 692	251 665	5 134	24 928	41	679
2.4	160 565	105 573	179 218	1 870	18 711	6	3 252
3.0	164 849	267 769	431 425	948	35 838	7 554	0
3.1	137 547	298 774	486 796	590	37 757	18 580	0
3.2	209 113	386 264	715 865	1 074	49 263	20 202	2
3.3	350 555	294 605	556 559	954	33 934	1 985	66
3.4	470 106	529 833	715 683	6 175	61 506	536	119
3.5	507 672	460 501	607 068	14 163	49 394	47	18 972
3.6	390 327	303 527	420 594	8 867	34 907	11	24 161
3.7	354 327	181 401	131 915	1 029	21 267	0	10 028
TOTAL	3 656 309	3 389 678	5 057 543	71 375	456 680	49 244	57 361

Source: OMBEVI, 1992

2.4.2 Ressources ligneuses

Au Mali, plus de 90 % de l'énergie domestique consommée provient des produits ligneux. La consommation de bois estimée selon les enquêtes à 2 Kg par personne et par jour en milieu rural, elle se situe entre 1,4 et 1,9 Kg en milieu urbain. Malgré le développement encouragé de l'utilisation d'autres formes d'énergie, notamment le gaz en milieu urbain et la diffusion de foyers améliorés, la tendance générale restera à la croissance soutenue de la consommation de produits ligneux. Le tableau ci-dessous synthétise le bilan de la ressource et de la consommation de bois-énergie.

Tableau 2.4.2: *Ressource et consommation en bois-énergie par région au Mali*

	Kayes	Koulikoro	Sikasso	Ségou	Mopti	Tombouctou Gao Kidal	Total National
Productivité annuelle (1000 m ³ /an)	2 960	3 200	6 630	1 970	970	500	16 230
Productivité annuelle accessible (1000 m ³ /an)	1 780	1 920	3 980	1 180	580	300	9 740
Consommation annuelle (1000 m ³ /an)	900	1 780	1 320	1 670	910	500	7 080
Taux de couverture des besoins	2.0	1.08	3.0	0.70	0.64	0.60	1.40
. Régions favorables	X		X				
. Régions critiques		X					
. Régions à risque				X	X	X	

Source: Schéma Directeur, (Volume 3: Plan d'action Mars, 1992)

Il faut rappeler que la situation de chaque région n'est pas uniforme et qu'il existe de vastes auréoles déboisées autour des grandes agglomérations. En outre, les zones d'approvisionnement des grandes villes débordent largement des limites de région ce qui fausse sensiblement ce bilan.

Le potentiel en ressources ligneuses de la zone soudano-sahélienne a été analysé à l'aide de variables estimées sur la base des données du projet inventaire des ressources ligneuses (PIRL). Ces variables sont:

- VT1: Les formations végétales sur sols potentiellement aptes à l'agriculture avec risque élevée de défrichement à plus ou moins long terme
- VT2: Les formations végétales à vocation sylvo-pastorale
- VT3: Les formations végétales à vocation sylvo-pastorale en milieu écologiquement très fragile
- VT4: Les forêts classées
- VT: Et le volume total de ressources ligneuses
- AAE: L'accroissement annuel estimé en m³/ha/an

Toutes ces variables ont été estimées en (m³) pour chaque sous-zone de la zone d'étude (soudano-sahélienne) sur la base des données du PIRL.

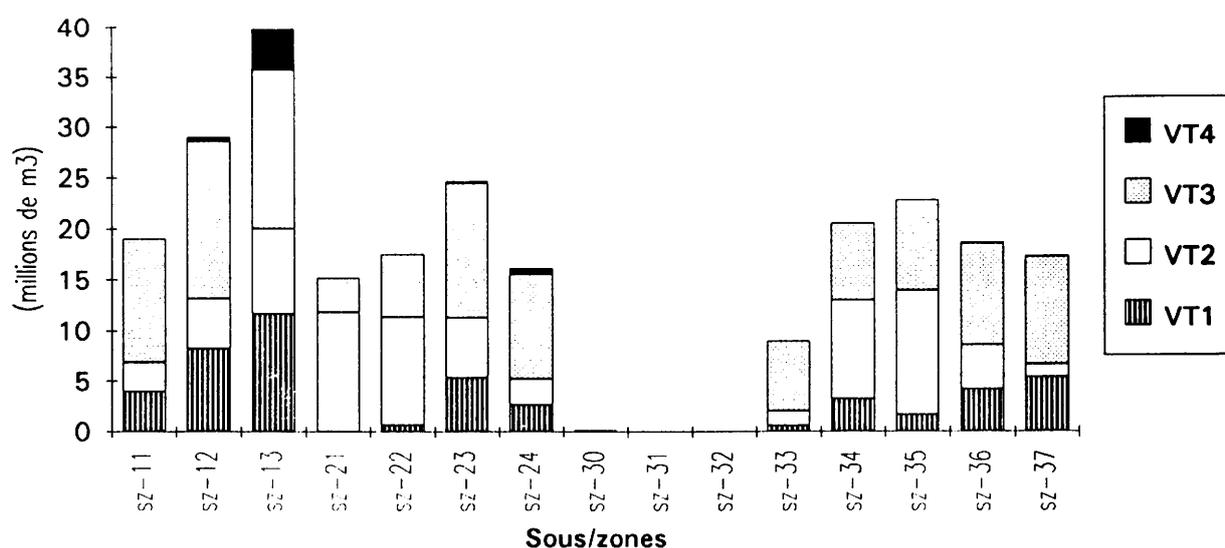
L'analyse de l'importance du volume global (m³) de ressources ligneuses et du volume (m³/Km²) des différents types de formations végétales montre que c'est au niveau des sous-zones 13, 23, 24 et 35 qu'il y a un volume important en ressources ligneuses en zone soudano-sahélienne. Les formations végétales (VT3) semblent plus prédominantes de manière générale avec près de 50 % du volume total. Il y a ensuite les formations VT2 et VT1 qui constituent respectivement 30 % et 20 % du volume total. Quant aux forêts classées (VT4); elles sont prédominantes par ordre d'importance au niveau des sous-zones 13, 24, 12 et 31.

La disponibilité doit être considérée en relation avec les besoins de consommation actuels et futurs des populations. C'est à dire que le bois sera considéré comme une contrainte (restriction dans le modèle PLBM) lorsque la disponibilité en bois est assez faible pour faire face aux besoins de consommation actuels et futurs dans telle ou telle sous-zone. En ce moment les disponibilités en superficies pour l'agriculture et/ou l'élevage seront corrigées (ou diminuées) pour prévoir déjà les besoins en superficie pour la pratique des activités de sylviculture (plantations pures ou agro-foresterie). Dans l'estimation de ces besoins en superficies pour les activités sylvicoles, on doit considérer:

- les besoins de consommation (m³/ha/an)
- la productivité des différentes espèces ligneuses susceptibles d'être choisies pour les activités sylvicoles (plantations pures ou agro-foresterie)
- la part de la végétation naturelle ainsi que celle de la plantation (ou agro-foresterie) dans la satisfaction des besoins.

La définition et la description quantitative (intrants/extrants) des activités sylvicoles, fera l'objet d'analyses ultérieures pour leur intégration dans le Modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM) en plus des autres activités de cultures et d'élevage.

IMPORTANCE DES DIFFERENTS TYPES DE FORMATIONS VEGETALES PAR SOUS/ZONE (en millions de m³)



2.4.3 Ressources en eau

En zone soudano-sahélienne du Mali, les ressources en eau sont assez diversifiées, il y a :

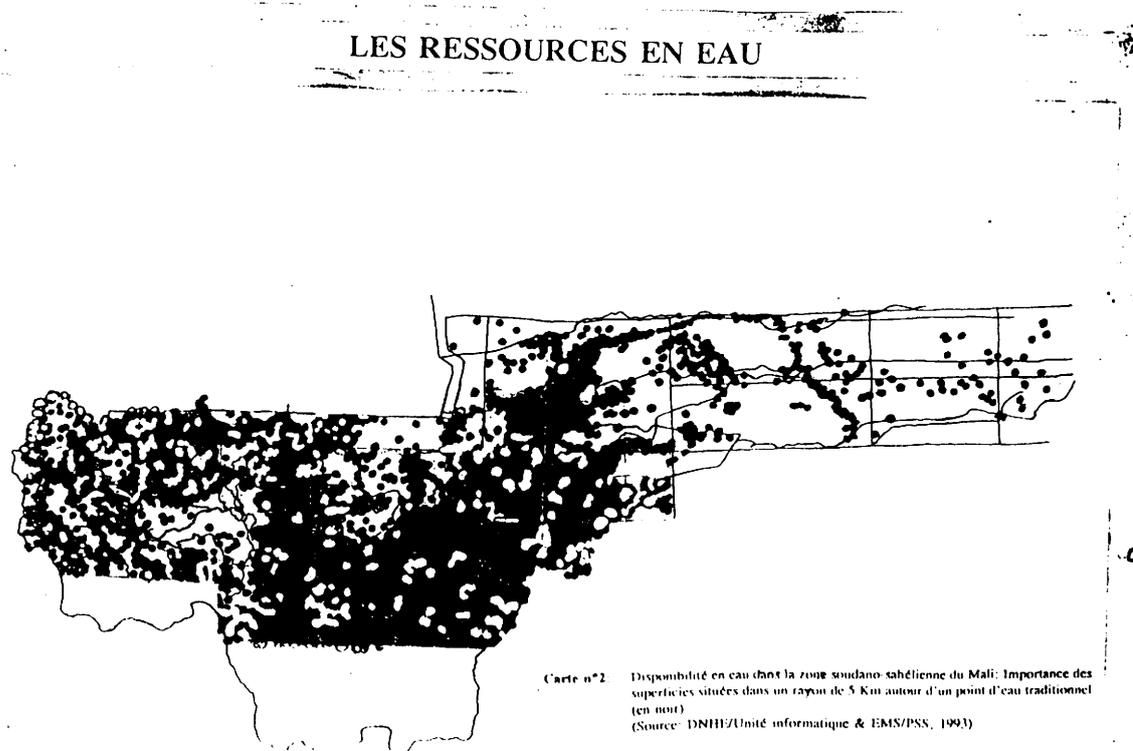
- Les sources d'eau naturelles: fleuves (Niger, Sénégal, Bani), rivières et mares permanentes
- Les puits traditionnels
- Les infrastructures hydrauliques modernes: pompes, puisards, forages

Pour mesurer le potentiel des ressources en eau, la carte des points d'eau traditionnels et celle des infrastructures hydrauliques modernes ont été établies pour étudier le niveau de disponibilité en eau dans les différentes sous-zones définies dans la région d'étude. Concernant la carte des puits traditionnels (en annexe), les villages ont été assimilés à un puits traditionnel minimum et un rayon de 6 Km a été délimité autour de chaque village.

Sur la carte, les zones non couvertes par les rayons de 6 Km sont considérées comme des zones où la disponibilité de l'eau est faible (ou limitée). L'analyse globale par sous-zone montre que les zones à faible disponibilité de point d'eau, représente une faible proportion de la superficie totale par sous/zone.

La zone soudano-sahélienne a certes des potentialités en eau. Cette disponibilité en eau doit être considérée en relation avec les besoins de consommation actuels et futurs.

Comme le bois, l'eau doit aussi être considérée comme une contrainte lorsque sa disponibilité est limitée. L'usage des sols pour l'élevage ou l'agriculture peut être compromis dans les zones où la disponibilité en eau est limitée. Même s'il y a donc des puits, il faudra analyser la relation entre d'une part le nombre et le débit des puits et d'autre part la densité de la population. Si la disponibilité en eau est trop faible par rapport aux besoins de la population, toute la superficie disponible ne pourra donc pas être exploitée pour l'agriculture et/ou l'élevage. La possibilité de réaliser de nouveaux forages pour la valorisation de ces superficies peut donc être proposée.



3. ACTIVITES

3.1. APPROCHE DE DEFINITION DES ACTIVITES

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 figure 3.1.1. 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.

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 3.1.1 comme exemple.

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 3.1.2.

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 nutriments et/ou de la matière organique.

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

- CUL: culture
- BRU: brûlis des résidus au champ
- ENF: enfouissement des résidus au champ
- TRF: transport des résidus à la ferme
- TFC: transport du fumier au champ
- JAC: jachère
- PAT: production de pâturage
- ETP: élevage en troupeau
- EMB: élevage d'embouche
- LIT: fabrication de litière
- ENG: achat d'engrais
- SUP: achat de supplément

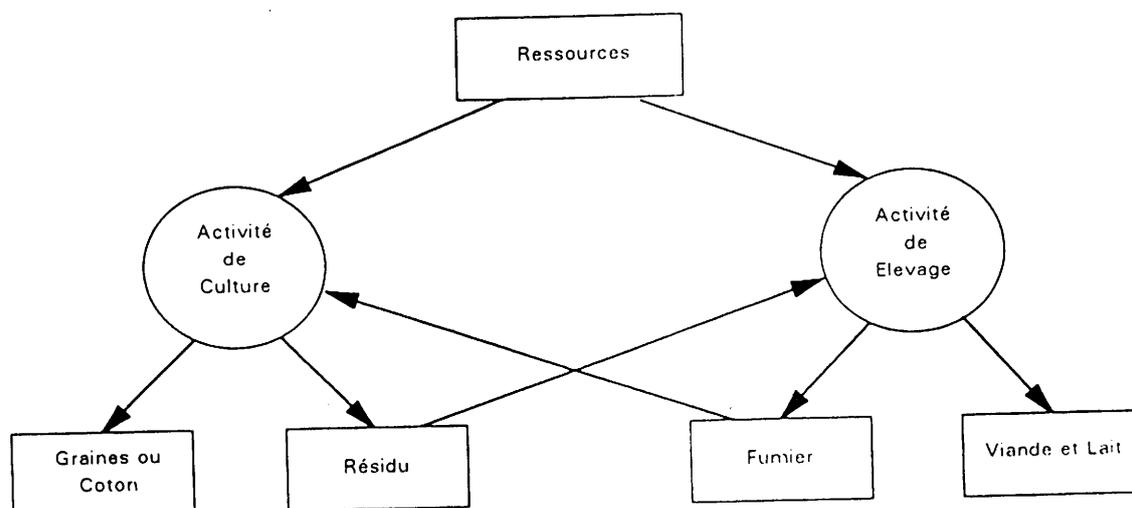
La manière dont ces activités sont liées est présentée dans la figure 3.1.2 qui constitue donc un diagramme relationnel pour les types d'activités définis. Les différents types d'activité qui y figurent sont traités dans le chapitre 3.2. Il est à noter que pour ne pas trop compliquer le diagramme, il 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 3.1.

Tableau 3.1.1 Critères de définition 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 cloisonnés	non oui

Figure 3.1.1 Diagramme relationnelle de deux types d'activité représentant leur compétition pour les mêmes ressources et leur interaction à travers des sous-produits



Légende: intrant et/ou extrant d'une activité
 activité: processus plus ou moins complexe de transformation des intrants en extrants

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 nutriments (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.

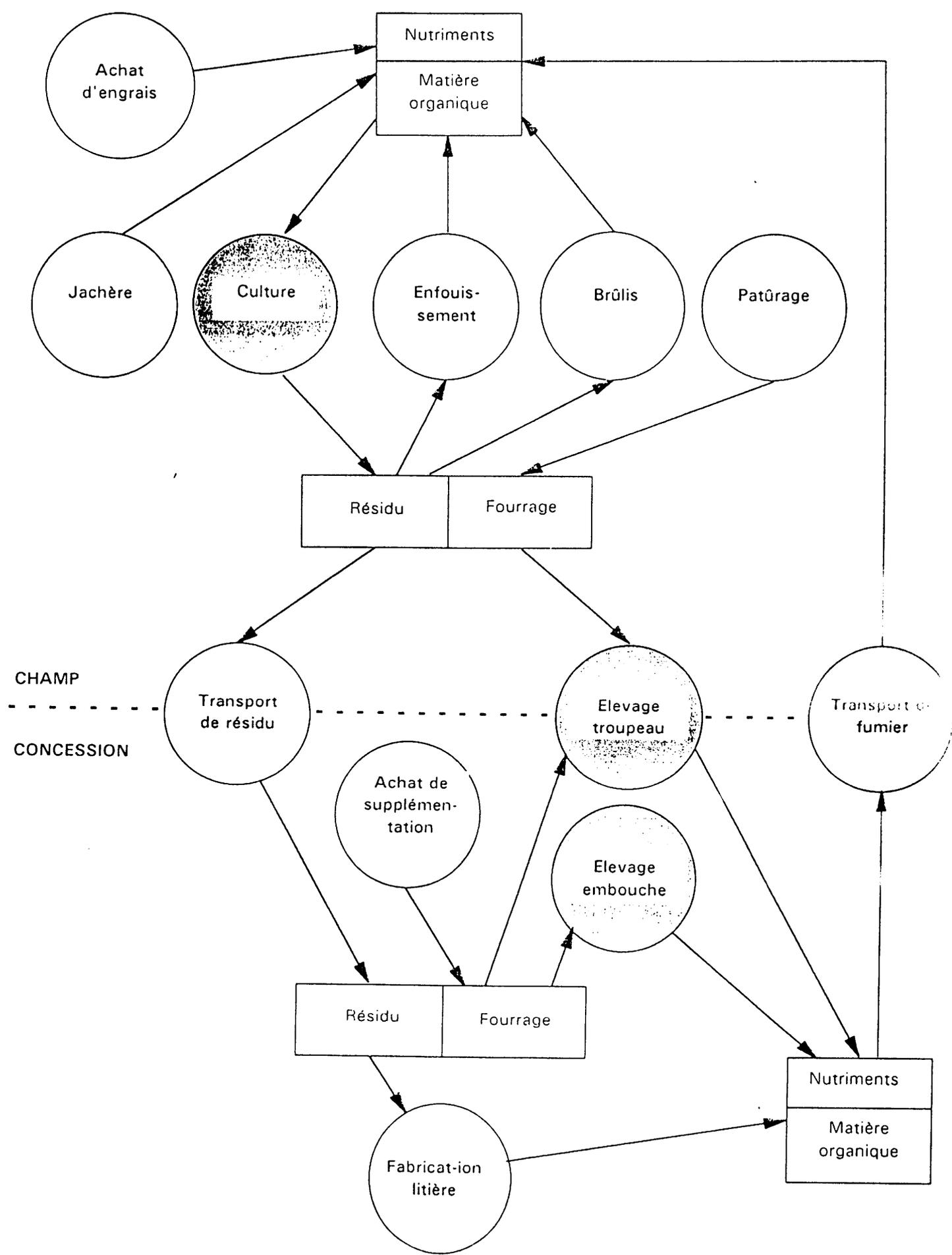
Quant à la main-d'oeuvre nous pouvons dire qu'un système durable doit pouvoir nourrir ses actifs ainsi que ses non-actifs et doit produire un certain niveau de revenu pour les autres besoins de la vie (soins de santé, habitation, loisirs).

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 nutriments du sol se pose par sa nature toujours au niveau de chaque type de sol.

Figure 3.1.2 Diagramme relationnelle des activités avec leurs produits intermédiaires



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 les chapitres 2, il nous reste à explicitier les produits finaux et intermédiaires.

A) Produits finaux

Les produits finaux de l'agriculture sont les graines des culture 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-consommée et/ou être vendus.

B) Produits intermédiaires

1) *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.

2) *Matière organique standard (MOST)*: Parce que les différents produits organiques qui peuvent être appliqués au 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) est facile à déterminer: il suffit de connaître: 1) le taux de matière organique dans le sol que l'on veut maintenir (éventuellement corrigé pour une autre profondeur); 2)

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; 3) 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) 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.

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 $(0,4 \times 120 \times 1,5)$ soit 72 UMO/ha. Si cet apport vient de la paille de mil exclusivement il nous faut un apport annuel de $72/0,04$ soit 1800 kg/ha 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.

3) *Nutriments NPK*: Les nutriments N,P,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 nutriments organiques. Elles sont pour le N, P et K respectivement 0,6; 1,25 et 1,0.

Le N,P,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,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 (ou) toute l'azote volatile peut être récupérée.

4) *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.

5) *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.

3.2 ACTIVITES DE CULTURE

3.2.1 Définition

Une activité est un processus dans lequel une combinaison spécifique d'intrants engendre un extrant spécifique. Les activités de culture sont des activités de production agricole. Elles présentent les différentes possibilités d'utiliser la terre pour produire des extrants (produits et sous-produits) qui peuvent être consommés ou vendus.

La définition des activités est fait sur la base des critères de définition ci-dessous.

Critères de définition d'une activité.

Climat	Sol	Culture	Intensité	Mécanisation	Type de labour	Paillage
Nord soudanien	EC	Mil	Extensif	Oui	A plat	Oui
	GR	Sorgho	Ext./tract ^o	Non	Billon	Non
	GR_su	Maïs	Semi/intensif		Billons	
	LIAR	Niébé	Intensif		cloisonnés	
	LIII	Arachide				
	LISA_f	Coton				

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 nutriments.

Sol: Le type de sol influe sur les mêmes coefficients techniques tout comme le climat.

Culture: Les cultures concernées sont le mil, sorgho, maïs, arachide, coton et le niébé.

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 nutriments, 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 nutriments. 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 nutriments 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 au 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.

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.

3.2.2 Description quantitative

La description quantitative des activités est faite à l'aide des coefficients techniques ou valeurs des intrants et extrants. Une brève description 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.

a. Les extrants

Extrant: 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.

L'eau disponible: 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 et Koné (1981), 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.

Production de biomasse limitée par la disponibilité en eau: La production de biomasse est calculé 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 limitée par la disponibilité en eau est ensuite comparée avec celle où l'insolation est le seul facteur limitant.

Production de biomasse au niveau intensif, extensif et semi-intensif: La production de biomasse au niveau intensif est fixée à 80 % de celle limitée par la disponibilité en eau.

La production au niveau extensif est calculée directement à partir de la quantité d'eau infiltrée. Des relations simples 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 % (Duivenbooden & Gosseye, 1990).

La production au niveau semi-intensif se situe au milieu des deux autres.

Extrant: 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 besoin 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.

Extrant: 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 traduit en matière organique standard (MOST).

Extrant: N,P,K à la ferme

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

b. Les 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) 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 et 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 définissons 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 ces 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: 1) coûts de remplacement de la matière organique et nutriments perdu par l'érosion tolérée; 2) 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'Equation 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.

Intrant: 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.

Intrant: MOST: L'approche de la détermination du besoin en MOST a été déjà traitée dans la section 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 25 cm.

Intrant: N,P,K: Le besoin en nutriments est calculé à partir des bilans pour chacun d'eux. Les processus pris en compte pour ce bilan qui sont tenus en compte sont:

1) *L'exportation des nutriments par les produits extrants de l'activité:* Les produits principaux bruts et les résidus sortant de l'activité de production de culture contiennent des nutriments. Leurs quantités dépendent des taux des nutriments 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 %.

2. *Les pertes des stocks en nutriments par l'érosion:* L'érosion de la couche supérieure emportent une partie des stocks en nutriments. 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 utilisés le stock comme retenue dans tableau 2.3.2 corrigé par un facteur d'enrichissement de 1.25.

3. *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 & Mkwunye, 1991; Christianson et al., 1990; Christianson & Vlek, 1991) et les pertes utilisées dans Van Duivenbooden & Gosseye (1990).

4. *Le lessivage:* Les nutriments 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.

5. *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).

6. *L'apport par pluie et vent*: Les nutriments N, P et K apportés par la pluie et le vent sont estimés à 0,0065; 0,0007 et 0,005 kg/ha par mm de pluie (Van Duivenbooden, 1992, qui s'est basé sur Krul et al. 1982).

7. *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.

8. *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 et fixé par les bactéries Rhizobium en symbiose avec la plante.

9. *L'apport par effritement des minéraux*: L'effritement d'une fraction des minéraux donne un apport en phosphore et potassium.

Le besoin en nutriments 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 nutriments.

Intrant: 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.

3.2.3 Analyse économique des activités de culture

Cette l'analyse économique a été faite pour une gamme d'activités de culture définies pour la production d'arachide, coton, niébé, mil, maïs et sorgho dans la zone de **Koutiala** avec une pluviométrie de 900 mm environ sur cinq types de sol: Sol avec Ecoulement (EC), Gravillonnaire (GR), Limon-argileux (LIAR), Limon-limoneux (LILI) et limon-sablonneux fin (LISA_f).

L'objectif de cette analyse économique est de mettre en évidence la **performance** des activités issues du Générateur de Coefficients Techniques. Elle permettra de se prononcer sur la rentabilité économique de l'utilisation des engrais (N,P,K) dans l'intensification de l'agriculture à travers l'analyse des rapports intrants/extrants (analyse des coûts et bénéfices), l'analyse de dominance et l'analyse du taux de rentabilité marginal.

Cette analyse est une aide à l'interprétation des résultats et choix du modèle PLBM.

3.2.3.1 Conditions de prix

a. Prix des intrants

A. d'oeuvre

Rémunération de la main-d'oeuvre: Les besoins en main-d'oeuvre sont déterminés 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) 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 et Gosseye (1990) et CMDT/IER/DRSPR (1990).

La main-d'oeuvre utilisée est valorisée en divisant la valeur ajoutée par hectare par le nombre d'hommes-jour total nécessaire pour réaliser chaque activité.

Prix des engrais et du fumier: Le prix de cession au comptant de l'urée en zone CMDT et du phosphate d'ammoniaque en zone Office du Niger sont fixés à 165 et 202 Fcfa le Kg respectivement (IFDC, 1994). Le prix du potassium est assimilé à celui de l'azote.

Pour ce qui est du fumier, R. Bosma et B. Jager (1992) donnent un prix de 4 FCFA le Kg.

Prix (Amortissement) du matériel: Pour ce qui est du matériel, IER (1992) et F. GIRAUDY (1994) donnent les prix en zone CMDT. Nous utilisons ces données pour calculer l'amortissement annuel des différents matériels. Les données sont consignées en annexe.

Prix des semences: En ce qui concerne les semences, le prix du Kg pour chaque culture est assimilé à celui du produit principal de la même culture.

b. Prix des extrants (Produits et sous-produits)

On utilise un prix moyen au producteur de 47, 36 et 35 FCFA/Kg respectivement pour le mil, sorgho et maïs (OPAM /SIM/1995).

Un prix moyen de 200 le Kg d'arachide et un prix moyen de 150 Fcfa (arrondis) le Kg de niébé (ESPGRN, 1992 et DNSI, 1994) sont retenus.

Quant au coton, principale culture de rente de la zone, l'article 12 du Contrat-Plan Etat-CMDT-Producteurs stipule : "le prix plancher au producteur est fixé à 125 FCFA/Kilo de coton graine 1er choix, à 105FCFA/Kilo de 2ème choix et à 75FCFA/Kilo pour le 3ème choix pour la durée du Contrat-Plan...".

Le kilogramme de paille de riz est vendu à la station du sahel Niono (1995) à 10 Fcfa en moyenne. En l'absence de données d'études fiables et d'un marché sûr, nous assumons provisoirement la valeur de la paille de mil, sorgho et maïs à celle du riz.

Pour les fanes de niébé K. SISSOKO (1993) indique un coût d'opportunité de 40 Fcfa le Kg. Nous utilisons ce prix tant pour les fanes de niébé que pour les fanes d'arachide.

3.2.3.2 Analyse des budgets partiels

Cette analyse de budget partiel est le début de l'analyse de dominance. Ici on calculera la Valeur de la Production (VP) et le Coût de Production (CP). Des indicateurs comme la Valeur Ajoutée par hectare (VAha), la Valeur Ajoutée par hommes-jour (VAhj), la Productivité du Travail (PT) et le Taux de Rentabilité (TR) sont également calculés. L'unité de mesure est l'hectare. Pour chaque cas une illustration de la méthode de calcul est faite.

Cette démarche de calcul est illustrée par la fiche n°1 en annexe.

a. Valeur de la Production par activité (VP)

C'est la valeur du produit principal et du produit secondaire. Elle est calculée à l'aide de la formule ci-dessous. Une illustration est faite dans le tableau n°1.

$$VP = R_{pp} * P_{pp} + R_{ps} * P_{ps}$$

R_{pp} = Rendement Produit Principal

P_{pp} = Prix Produit principal

R_{ps} = Rendement Produit Secondaire

P_{ps} = Prix Produit Secondaire

Tableau 3.2.3.2.1: Valeur de la production des activités de mil sur sol limon-argileux

Numéro de l'activité	Rendements produits (kg/ha)	Rendements résidus (kg/ha)	Prix produits principal Fcfa/kg	Prix produits résidus Fcfa/kg	Valeur produits (1000) Fcfa/ha	Valeur résidus (1000) Fcfa/ha	Valeur Production (1000) Fcfa/ha
149	471	0	47	10	22	0	22
150	574	0	47	10	27	0	27
153	568	0	47	10	27	0	27
152	574	1 753	47	10	27	18	45
154	797	0	47	10	37	0	37
156	797	2 420	47	10	37	24	62
157	1 942	0	47	10	91	0	91
158	2 243	0	47	10	105	0	105
160	2 243	5 006	47	10	105	50	155
159	1 942	4 339	47	10	91	43	135
161	3 930	0	47	10	185	0	185
162	4 311	0	47	10	203	0	203
163	3 930	6 566	47	10	185	66	250
164	4 311	7 202	47	10	203	72	275

b. Coût de Production par activité (CP)

Il correspond au coût du matériel, fumier et engrais. Il sera calculé à l'aide de la formule suivante:

$$CP = Aa + Qf*Pf + DN*PN + DP*PP + DK*PK$$

Aa = Amortissement du matériel et autres (FCFA/ha)

Qf = Quantité de fumier appliquée (Kg/ha)

Pf = Prix du fumier (FCFA/Kg)

DN = Dose d'azote appliquée (Kg/ha)

PN = Prix de l'azote (FCFA/Kg)

DP = Dose de phosphate (Kg/ha)

PP = Prix du phosphate (FCFA/Kg)

DK = Dose de potasse (Kg/ha)

PK = Prix de la potasse (FCFA/ha)

Une illustration à partir des activités de mil sur sol limon-argileux est faite dans le tableau suivant:

Tableau 3.2.3.2.2: Coût de production des activités de mil sur sol limon-argileux

Numéro de l'activité	Quantité fumier (kg/ha)	Dose d'azote (kg/ha)	Dose de P pur (kg/ha)	Dose de K pur (kg/ha)	Coût Matériel (1000) Fcfa/ha	Coût Engrais (1000) Fcfa/ha	Coût Fumier (1000) Fcfa/ha	Coût de Production (1000) Fcfa/ha
149	975	18	0	- 6	5	4	4	13
150	1 000	23	0	- 3	2	7	4	13
153	645	27	0	2	7	10	3	20
152	2 136	13	0	5	13	6	9	27
154	543	45	0	16	4	21	2	28
156	2 112	31	0	27	5	20	8	34
157	- 1 079	89	6	36	10	50	- 4	55
158	- 1 245	110	6	50	9	63	- 5	66
160	1 381	89	8	81	9	68	6	82
159	919	75	7	67	29	57	4	90
161	- 1 774	167	20	56	30	97	- 7	120
162	- 1 946	197	21	75	26	116	- 8	134
163	90	165	24	143	42	131	0	174
164	635	187	25	163	26	148	3	176

c. Valeur Ajoutée par hectare (VAha)

C'est la valeur de la production diminuée des consommations intermédiaires (coût des engrais, fumier, semences), de l'amortissement du matériel et autres. Une illustration est faite dans le tableau 3.2.3.2.3.

Tableau 3.2.3.2.3: Valeur ajoutée par hectare des activités de mil sur sol limon-argileux

Numéro de l'activité	Niveau d'intensité	Utilisation des résidus	LAE	Coût de production total (1000) Fcfa/ha	Valeur de la production totale (1000) Fcfa/ha	Valeur Ajoutée (1000) Fcfa/ha
149	1	1	1	13	22	9
150	1	1	2	13	27	14
153	2	1	1	20	27	6
152	1	2	2	27	45	17
154	2	1	2	28	37	9
156	2	2	2	34	62	28
157	3	1	1	55	91	36
158	3	1	2	66	105	39
160	3	2	2	82	155	73
159	3	2	1	90	135	45
161	4	1	1	120	185	65
162	4	1	2	134	203	69
163	4	2	1	174	250	77
164	4	2	2	176	203	98

d. Valeur Ajoutée par homme-jour (VAhj)

C'est la valeur ajoutée par hectare divisée par le nombre d'hommes-jour total nécessaire pour la réalisation d'une activité de culture. Elle est calculée par la formule suivante.

$$VA_{hj} = VA_{ha} / HJ$$

HJ = Nombre d'hommes-jour par hectare

Une illustration est faite dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.2.4: *Valeur ajoutée par homme-jour des activités de mil sur sol limon-argileux*

Numéro de l'activité	Niveau d'intensité	Utilisation des résidus	LAE	Valeur Ajoutée (1000) Fcfa/ha	Homme jour (Hj)	Valeur Ajoutée (Fcfa/Hj)
149	1	1	1	9	63	149
150	1	1	2	14	89	156
153	2	1	1	6	79	79
152	1	2	2	17	93	185
154	2	1	2	9	100	95
156	2	2	2	28	90	313
157	3	1	1	36	131	274
158	3	1	2	39	155	251
160	3	2	2	73	134	543
159	3	2	1	45	128	348
161	4	1	1	65	215	302
162	4	1	2	69	234	293
163	4	2	1	77	196	390
164	4	2	2	98	205	481

e. Productivité du Travail (PT)

C'est la production physique divisée par le nombre d'hommes-jour. La formule suivante permet de la calculer.

$$PT = R_{pp} / HJ$$

Une illustration est faite dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.2.5: *Productivité du travail des activités de mil sur sol limon-argileux.*

Numéro de l'activité	Niveau d'intensité	Utilisation des résidus	LAE	Rendement produit (kg/ha)	Homme Jour (Hj)	Productivité Travail Kg/HJ
149	1	1	1	471	63	7
150	1	1	2	574	89	6
153	2	1	1	568	79	7
152	1	2	2	574	93	6
154	2	1	2	797	100	8
156	2	2	2	797	90	9
157	3	1	1	1942	131	15
158	3	1	2	2243	155	14
160	3	2	2	2243	134	17
159	3	2	1	1942	128	15
161	4	1	1	3930	215	18
162	4	1	2	4311	234	18
163	4	2	1	3930	196	20
164	4	2	2	4311	205	21

f. Le Taux de Rentabilité (TR)

Il indique combien de franc on gagne pour chaque franc investi. Il est calculé à l'aide de la formule suivante.

$$TR = VA_{ha} / CP$$

Tableau 3.2.3.2.6: Taux de rentabilité des activités de mil sur sol limon-argileux

Numéro de l'activité	Niveau d'intensité	Utilisation des résidus	LAE	Valeur Ajoutée 1000 FCFA/ha	Coût de Production Totale 1000 FCFA/ha	Taux de Rentabilité %
149	1	1	1	9	13	0,7
150	1	1	2	14	13	1,1
153	2	1	1	6	20	0,3
152	1	2	2	17	27	0,6
154	2	1	2	9	28	0,3
156	2	2	2	28	34	0,8
157				36	55	0,6
158	3	1	2	39	66	0,6
160	3	2	2	73	82	0,9
159	3	2	1	45	90	0,5
161	3	1	1	65	120	0,5
162	4	1	2	69	134	0,5
163	4	2	1	77	174	0,4
164	4	2	2	98	176	0,6

Après cette première analyse de budgets partiels on procède à l'analyse marginale.

3.2.3.3 Analyse marginale

a. Analyse de Dominance (AD) et construction de la courbe de valeur ajoutée

Cette analyse permet d'éliminer les activités superflues. Elle est faite par type de sol pour une même culture. Le principe de l'analyse de dominance est le suivant : Si une activité (B) a un coût supérieur ou égale à une autre une activité (A) tout ayant un bénéfice net inférieur ou égal alors l'activité B est dite dominée par A. Toute activité en dessous de la courbe de valeur ajoutée est dominée. Les activités sont ordonnées de façon ascendante sur le coût de production.

Une illustration est faite à partir des activités de mil sur sol limon-argileux. Les activités en dessous de la courbe de valeur ajoutée sont dominées.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.3.1: *Analyse de dominance portée sur les activités de mil sur sol limon-argileux.*

Numéro de l'activité	Niveau d'intensité	Utilisation des résidus	LAE	Coût de Production Totale 1 000 FCFA/ha	Valeur Ajoutée 1 000 FCFA
149	1	1	1	13	9
150	1	1	2	13	14
153	2	1	1	20	6 D
152	1	2	2	27	17
154	2	1	2	28	9 D
156	2	2	2	34	28
157	3	1	1	55	36
158	3	1	2	66	39
160	3	2	2	82	73
159	3	2	1	90	45 D
161	4	1	1	120	65 D
162	4	1	2	134	69 D
163	4	2	1	174	77
164	4	2	2	176	98

D = Dominée

b. Taux de Rentabilité Marginal (TRM)

Il est calculé à l'aide de la valeur ajoutée marginale et du coût marginal. Cette analyse se fait à partir des activités non dominées.

Valeur Ajoutée Marginale (VAM): C'est l'augmentation de la valeur ajoutée lorsque l'on passe d'une activité à l'autre. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$VAM = \Delta VA = VA_n - VA_{n-1}$$

Une illustration est faite dans le tableau ci-dessous

Tableau 3.2.3.3.2: *Valeur ajoutée marginale des activités de mil sur sol limon-argileux.*

Numéro de l'activité	Valeur Ajoutée 1 000 FCFA	Valeur Ajoutée Marginale 1 000 FCFA
149	9	
150	14	4.5
152	17	3.2
156	28	11.0
157	36	7.7
158	39	3.1
160	73	34.0
163	77	3.0
164	98	21.9

Coût Marginal (CM): C'est l'augmentation du coût lorsque l'on passe d'une activité à l'autre. Il est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$CM = \Delta CP = CP_n - CP_{n-1}$$

Une illustration est faite dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.2.3.3.3: *Coût Marginal des activités de mil sur sol limon-argileux.*

Numéro de l'activité	Coût Total 1 000 FCFA/ha	Coût Marginal FCFA/ha
149	13	
150	13	0.3
152	27	14.3
156	34	6.1
157	55	21.9
158	66	11.0
160	82	16.0
163	174	91.3
164	176	2.4

Taux de Rentabilité Marginal (TRM): Il est calculé en divisant la valeur ajoutée marginale par le coût marginal. Cette valeur est exprimée en pourcentage. On le calcul à l'aide de la formule suivante:

$$TRM = (VA_n - VA_{n-1}) / (CP_n - CP_{n-1}) = \Delta VA / \Delta CP$$

Une illustration est faite dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.3.4: *Taux de rentabilité marginal des activités de mil sur sol limon-argileux.*

Numéro de l'activité	Coût de Production Totale 1 000 FCFA/ha	Valeur Ajoutée 1 000 FCFA	Valeur Ajoutée Marginale 1 000 FCFA	Coût Marginal FCFA/ha	Taux de Rentabilité Marginal
149	13	9			
150	13	14	4.5	0.3	1575.07
152	27	17	3.2	14.3	22.25
156	34	28	11.0	6.1	180.14
157	55	36	7.7	21.9	35.30
158	66	39	3.1	11.0	28.65
160	82	73	34.0	16.0	211.64
163	174	77	3.0	91.3	3.91
164	176	98	21.9	2.4	895.23

c. Calcul du Taux de Rentabilité minimum (TRm)

Il est composé de deux éléments : le Coût du capital et le Coût de gestion.

Le coût du capital est le coût que la paysan doit payer pour avoir un cash pour l'investissement. Il correspond généralement au taux d'épargne usuellement appliqué par les banques.

Pour ce qui est du Coût de gestion (Cost of Management), CIMMYT Economics Program (1985) indique un taux minimum de 20%. Le taux de Rentabilité minimum est calculé à l'aide de la formule suivante.

$$TRm = Cc + Cg$$

Cc = Coût du capital (Taux d'intérêt)

Cg = Coût de gestion (Cost of management)

(taux d'intérêt = 5% et Coût de gestion 20%)

On retient dans cette étude un taux de rentabilité minimum de 25%.

d. Comparaison Taux de Rentabilité Marginal et Taux de Rentabilité minimum

Afin de choisir l'activité économiquement plus intéressante on compare le taux de rentabilité marginal au taux de rentabilité minimum.

La comparaison est faite entre chaque paire d'activité avec le taux de rentabilité minimum, et l'on s'arrête quand le taux de rentabilité marginal approche, mais ne tombe pas en dessous, du taux de rentabilité minimum.

Une illustration est faite dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.3.5: Comparaison du Taux de Rentabilité Marginal et du Taux de Rentabilité minimum.

Numéro de l'activité	Coût de Production Totale 1 000 FCFA/ha	Valeur Ajoutée 1 000 FCFA	Valeur Ajoutée Marginale 1 000 FCFA	Coût Marginal FCFA/ha	Taux de Rentabilité Marginal (A)	Taux de Rentabilité Minimum (B)	Si A > B L'activité est dominée
149	13	9					
150	13	14	4.5	0.3	1575.07	25.00	
152	27	17	3.2	14.3	22.25	25.00	Dominée
156	34	28	11.0	6.1	180.14	25.00	
157	55	36	7.7	21.9	35.30	25.00	
158	66	39	3.1	11.0	28.65	25.00	
160	82	73	34.0	16.0	211.64	25.00	
163	174	77	3.0	91.3	3.91	25.00	Dominée
164	176	98	21.9	2.4	895.23	25.00	*****

En comparant les Taux de Rentabilité Marginal consignés dans le tableau ci-dessus et le Taux de Rentabilité Minimum on note que l'activité 164 est la plus intéressante économiquement. Elle a la Valeur Ajoutée par hectare la plus élevée et son Taux de Rentabilité Marginal (895.23%) est supérieur au Taux de Rentabilité Minimum (25%)

Cette démarche est appliquée à toutes les activités d'une même culture sur un même type de sol.

3.2.3.4 Analyse de sensibilité

Afin de mieux se prononcer de ce qu'il adviendra de la rentabilité du capital investi si tout ne se déroule pas comme prévu on procède à une analyse de sensibilité. C'est la façon de traiter l'incertitude qui pèse sur les événements et les valeurs futures. Il s'agit de savoir qu'est ce qui se passe si les différents prix changent de valeur. Verbeek A.C (1987) indique qu'il faut au minimum analyser les conséquences d'un changement de 10 à 20% des prix des intrants et de la production. Dans cette étude on analysera d'abord le cas d'une diminution du prix des extrants de 20%, ensuite le cas d'une augmentation du prix des intrants extérieurs de 20% et enfin le cas d'une diminution de 20% du prix des extrants et une augmentation de 20% du prix des intrants extérieurs de façon simultanée.

Cette analyse est effectuée seulement pour les activités retenus par l'analyse marginale.

3.2.3.5 Résultats

a. Résultats de l'analyse marginale.

Trois cent vingt huit activités ont été analysées dont 261 sont rentables au stade actuel du prix des intrants et extrants. De ces 261 activités seules vingt six (26) activités sont retenues après analyse de rentabilité marginale. Il s'agit de quatre (4) activités d'arachide, 5 de niébé, 5 de coton, 3 de mil, 5 de sorgho et 4 maïs.

Les activités retenues sont semi-intensives (27 %) et intensives (73 %). Leurs rendements moyens obtenus ainsi que les doses d'engrais et de fumure nécessaires pour les atteindre sont consignés dans le tableau.

Tableau 3.2.3.5.1: *Rendement et doses moyennes des activités retenues*

	Rendement	Quantité	Azote	Phosphore	Potassium
Arachide	1 278	2 983	43	14	12
Niébé	1 502	3 224	20	19	49
Coton	1 592	2 164	82	14	- 1
Mil	2 863	1 374	124	16	113
Sorgho	4 178	2 433	158	18	74
Maïs	5 790	2 760	205	31	91

Arachide: L'arachide est pratiquée sur les sols, gravillonnaire, limon-argileux, limon-sableux-fin et limon limoneux. Les activités retenues sont toutes intensives et la lutte anti-érosive est appliquée. Les activités dégagent en moyenne une valeur ajoutée par hectare de 251 000 FCFA pour un coût moyen de 78 000 FCFA/ha. Le niveau de rémunération de la main-d'oeuvre est de 1830 FCFA/hj pour une productivité du travail de 9 Kg/Hj. Le détail par type de sol est consigné dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.5.2: Caractéristiques économiques des activités d'arachide retenues

N° de l'activité	Substrat	Niveau d'intensité	LAE	Coût total (1000) Fcfa/ha	Valeur Ajoutée (1000) Fcfa/hj	Valeur Ajoutée/hj Fcfa/Hj	Productivité travail kg/Hj	Taux de rentabilité (%)
128	Gravillonnaire	Intensif	Oui	78	174	1 323	7	2.2
384	Limon-sableux fin	Intensif	Oui	79	236	1 712	9	3.0
300	Limon-limoneux	Intensif	Oui	84	311	2 312	11	3.7
212	Limon-argileux	Intensif	Oui	74	281	1 975	10	3.8

L'activité l'arachide la plus performante du point de vue économique est faite sur sol limon-limoneux. Sa valeur ajoutée par hectare est 218 000 FCFA pour un coût moyen de 74 000 FCFA/ha soit un taux de rentabilité de 3.8 francs par franc investi. La rémunération de la main-d'oeuvre est de 1975 FCFA/Hj pour une productivité de travail de 10 Kg/Hj.

Son rendement est de 1,4 tonne. Son besoin en fumure est de 2,9 tonnes pour des doses d'azote, de phosphore et de potasse, de 45, 12 et 11 kg/ha respectivement. Il utilise 143 Hj/ha et 1 boeuf de labour par hectare.

Les détails sont consignés en annexe, tableau

Coton: Le coton est praticable sur tous les types de sol. Les activités retenues après l'analyse marginale sont de type intensif et semi-intensif. Elles utilisent la technique de paillage. Les activités de coton donnent en moyenne une valeur ajoutée par hectare de 108 000 FCFA pour un coût moyen de 91 000 FCFA par hectare. Elles autorisent un niveau de rémunération moyen de la main-d'oeuvre de 668 Fcfa/Hj pour une productivité de travail de 10 kg/Hj. Les détails sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.2.3.5.3: Caractéristiques économiques des activités de coton retenues

N° de l'activité	Substrat	Niveau d'intensité	LAE	Coût total (1000) Fcfa/ha	Valeur Ajoutée (1000) Fcfa/hj	Valeur Ajoutée/hj Fcfa/Hj	Productivité travail kg/Hj	Taux de rentabilité (%)
145	Gravillonnaire	Semi-intensif	Oui	89	27	233	8	0.3
319	Limon-sableux fin	Intensif	Oui	108	121	740	11	1.1
402	Limon-argileux	Semi-intensif	Oui	70	99	700	10	1.4
234	Limon-limoneux	Intensif	Oui	106	150	833	11	1.4
61	Ecoulement	Intensif	Non	83	143	835	11	1.7

La lutte anti-érosive n'est pratiquée que sur le sol avec écoulement. C'est sur ce sol qu'est pratiquée l'activité la plus intéressante. Cette activité donne un niveau de rémunération de la main-d'oeuvre de 835 FCFA par homme-jour. Elle dégage un taux de rentabilité de 1,7 FCFA par franc investi. Sa productivité est de 11 Kg/Hj. Son rendement est de 1,8 tonne. Son besoin en fumure est de 5,1 tonnes pour des doses d'azote, de phosphore et de potasse, de 47, 12 et - 50 kg/ha respectivement. Il utilise 171 Hj/ha et 2,4 boeufs de labour. Les détails sont consignés dans le tableau n° en annexe.

Niébé: Il est praticable sur tous les types de sol. Les activités de niébé retenues sont toutes intensives. Les fanes sont valorisées. La lutte anti-érosive est appliquée sauf sur le sol avec écoulement.

La valeur ajoutée moyenne est 197 000 Fcfa par hectare pour un coût moyen de 90 000 FCFA/ha et une productivité du travail de 11 Kg/Hj. La rémunération moyenne de la main-d'oeuvre est de 1 492 FCFA/Hj.

Tableau 3.2.3.5.4: *Caractéristiques économiques des activités de niébé retenues*

N° de l'activité	Substrat	Niveau d'intensité	LAE	Coût total (1000) Fcfa/ha	Valeur ajoutée (1000) Fcfa/hj	Valeur ajoutée/hj Fcfa/Hj	Productivité travail kg/Hj	Taux de rentabilité (%)
120	Gravillonnaire	Intensif	Oui	95	133	1 069	10	1,4
376	Limon-sableux fin	Intensif	Oui	97	185	1 386	11	1,9
204	Limon-argileux	Intensif	Oui	90	226	1 623	12	2,5
39	Ecoulement	Intensif	Non	71	185	1 474	11	2,6
292	Limon-limoneux	Intensif	Oui	96	254	1 909	14	2,6

L'activité de niébé la plus importante est faite sur sol limon-limoneux avec la pratique de lutte anti-érosive. Elle dégage une valeur ajoutée par hectare de 254 000 FCFA pour un coût de production de 96 000 FCFA/ha soit un taux de rentabilité de 2,6 FCFA par franc investi. La productivité du travail est de 14 Kg/Hj pour une rémunération de la main-d'oeuvre de 1909 FCFA/Hj. Son rendement est de 1,8 tonne. Son besoin en fumure est de 3,2 tonnes pour des doses d'azote, de phosphore et de potasse, de 9, 31 et 40 kg/ha respectivement. Il utilise 133 Hj/ha et 2,2 boeufs de labour.

Mil: Le mil est retenu sur sol limon-sableux fin, limon-argileux et limon-limoneux. La valeur ajoutée moyenne est de 68 000 FCFA/ha pour un coût de production de 121 000 FCFA et une productivité moyenne de 18Kg/Hj. La rémunération de la main-d'oeuvre est de 452 FCFA/Hj.

Tableau 3.2.3.5.5: *Caractéristiques économiques des activités de mil retenues*

N° de l'activité	Substrat	Niveau d'intensité	LAE	Coût total (1000) Fcfa/ha	Valeur ajoutée (1000) Fcfa/hj	Valeur ajoutée/hj Fcfa/Hj	Productivité travail kg/Hj	Taux de rentabilité (%)
332	Limon-sableux fin	Semi-intensif	Oui	105	45	339	16	0,4
164	Limon-argileux	Intensif	Oui	176	98	481	21	0,6
248	Limon-limoneux	Semi-intensif	Oui	83	64	536	18	0,8

L'activité la plus intéressante est le mil sur sol limon-limoneux. Elle est semi-intensive. Elle utilise la lutte anti-érosive. Sa valeur ajoutée par hectare est de 64 000 FCFA pour un coût de production de 83 000 soit un taux de rentabilité de 0.8 FCFA par franc investi. Elle autorise un niveau de rémunération de la main-d'oeuvre de 536 FCFA/Hj pour une productivité du travail de 18 Kg/Hj.

Son rendement est de 2,1 tonnes. Son besoin en fumure est de 2,4 tonnes pour des doses d'azote, de phosphore et de potasse, de 68, 13 et 60 respectivement. Il utilise 119 Hj/ha et 1,5 boeufs de labour.

Sorgho: Sa culture est retenue sur tous les types de sols. Les activités retenues sont intensives et semi-intensives. La lutte anti-érosive est appliquée sauf sur le sol avec écoulement. Ces activités dégagent une valeur ajoutée de 78 000 FCFA/Hj pour un coût moyen de 132 000 FCFA/ha. La rémunération moyenne de la main-d'oeuvre est de 440 FCFA/Hj pour une productivité moyenne de 25 Kg/Hj.

Tableau 3.2.3.5.6: *Caractéristiques économiques des activités de sorgho retenues*

N° de l'activité	Substrat	Niveau d'intensité	LAE	Coût total (1000) Fcfa/ha	Valeur ajoutée (1000) Fcfa/hj	Valeur ajoutée/hj Fcfa/Hj	Productivité travail kg/Hj	Taux de rentabilité (%)
92	Gravillonnaire	Semi-intensif	Oui	98	10	86	18	0,1
15	Écoulement	Intensif	Non	138	81	442	24	0,6
348	Limon-sableux fin	Semi-intensif	Oui	91	57	462	22	0,6
180	Limon-argileux	Intensif	Oui	177	115	566	29	0,7
268	Limon-limoneux	Intensif	Oui	157	130	644	29	0,8

L'activité la plus intéressante est l'activité sur limon-limoneux. Elle offre une valeur ajoutée par hectare de 130 000 FCFA pour un coût de production de 157 000 FCFA/ha soit un taux de rentabilité de 0,8 FCFA pour franc investi. La rémunération de la main-d'oeuvre est de 644 FCFA/Hj pour une productivité de 29 Kg/Hj.

Son rendement est de 5,8 tonnes. Son besoin en fumure est de 2,8 tonnes pour des doses d'azote, de phosphore et de potasse, de 168, 36 et 76 respectivement. Il utilise 201 Hj/ha et 1,4 boeufs de labour.

Maïs: Les activités de maïs sont retenues pour les sols limon-sableux-fin, avec écoulement, limon-argileux et limon-limoneux. Elles sont intensives à l'exception de l'activité sur sol avec écoulement. Sur ce sol et sur le sol limon-limoneux la lutte anti-érosive est appliquée.

Les activités de maïs dégagent en moyenne 78 000 FCFA/ha comme valeur ajoutée pour un coût de 180 000 FCFA/ha. La rémunération de la main-d'oeuvre en moyenne est de 470 FCFA/Hj. La productivité est de 35 Kg/Hj.

Tableau 3.2.3.5.7: *Caractéristiques économiques des activités de maïs retenues*

N° de l'activité	Substrat	Niveau d'intensité	LAE	Coût total (1000) Fcfa/ha	Valeur ajoutée (1000) Fcfa/hj	Valeur ajoutée/hj Fcfa/Hj	Productivité travail kg/Hj	Taux de rentabilité (%)
364	Limon-sableux fin	Semi-intensif	Oui	126	35	307	30	0,3
31	Écoulement	Intensif	Non	207	70	388	35	0,3
195	Limon-argileux	Intensif	Non	181	89	518	36	0,5
284	Limon-limoneux	Intensif	Oui	206	118	668	42	0,6

L'activité la plus intéressante est le maïs sur sol limon-limoneux. Elle dégage une valeur ajoutée par hectare de 118 00 FCFA pour un coût de production de 206 00 FCFA/ha soit un taux de rentabilité de 0.6 FCFA/Franc investi. La rémunération de la main-d'oeuvre est 668 FCFA/Hj pour une productivité de 42 Kg/Hj.

Son rendement est de 7,3 tonnes. Son besoin en fumure est de 2,7 tonnes pour des doses d'azote, de phosphore et de potasse, de 216, 52 et 102 respectivement. Il utilise 176 Hj/ha et 2,6 boeufs de labour.

L'importance des activités retenues par type de sol est exprimée dans le tableau suivant à travers le taux de rentabilité figure n°.

b. Résultats de l'analyse de sensibilité

Les résultats de l'analyse de sensibilité consignés dans le tableau suivant indiquent que les activités retenues après l'analyse du taux de rentabilité marginal gardent leur rentabilité tant dans une situation de chute du prix du produit principal que dans une situation de hausse du prix des intrants extérieurs (N, P et K) à l'exception du sorgho semi-intensif sur sol gravillonnaire.

Le coton semi-intensif sur sol gravillonnaire avec paillage et sans lutte anti-érosive perd sa rentabilité dans les conditions d'une chute du prix du produit principal de 20 % et d'une hausse du prix des engrais de 20 % de façon simultanée. On observe la même situation avec les activités de maïs sur sol avec écoulement et sur sol limon-sableux-fin. Les détails sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 3.2.3.5.8: *Valeur ajoutée par hectare dans différentes conditions de prix des intrants et du produit principal.*

Numéro de l'activité	Culture	Chute du prix produit principal de 20 %	Hausse du prix des intrants N,P,K de 20 %	Chute du prix du produit principal et hausse du prix des intrants N,P,K de 20 %
128	Arachide	135	167	128
384	Arachide	187	229	180
300	Arachide	250	306	244
212	Arachide	226	276	220
145	Coton	4	16	- 8
319	Coton	76	112	66
402	Coton	65	91	57
234	Coton	99	139	88
61	Coton	98	141	96
364	Maïs	11	14	-10
31	Maïs	26	41	- 3
195	Maïs	46	63	20
284	Maïs	66	86	35
332	Mil	25	27	6
164	Mil	58	69	28
248	Mil	44	53	33
120	Niébé	98	123	87
376	Niébé	141	175	130
204	Niébé	176	217	167
39	Niébé	145	183	143
292	Niébé	199	245	190
92	Sorgho	- 5	- 7	-21
15	Sorgho	49	66	34
348	Sorgho	37	42	22
180	Sorgho	72	86	43
268	Sorgho	88	106	64

3.2.3.6 Conclusion

L'intensification à travers l'utilisation des engrais azotés et phosphatés est possible dans la zone de Koutiala. Cette intensification est surtout favorable avec les cultures de "rente" coton, l'arachide et le niébé. Ces spéculations dégagent, respectivement, des niveaux de valeur ajoutée par hectare de 108, 251 et 197 000 FCFA et des niveaux de rémunération de la main-d'oeuvre de 688, 1830 et 1492 FCFA par homme-jour.

Quant aux céréales, malgré les niveaux de valeur ajoutée par hectare atteints, les niveaux de rémunération moyens de la main-d'oeuvre restent assez bas avec respectivement 452, 440 et 470 FCFA/Hj pour le mil, sorgho et maïs.

Le coton, l'arachide et le niébé ont des niveaux de valeur ajoutée plus élevés que les céréales mil, maïs et sorgho et même temps les coûts de production les plus bas.

L'analyse de sensibilité montrent que les activités retenues après l'analyse marginale sont assez performantes. Elles gardent leur rentabilité même dans les conditions de prix les plus défavorables. Les activités sont plus vulnérables à une chute du prix du produit qu'à une hausse du prix des engrais.

Nous recommandons un test en milieu réel, pour vérifier la faisabilité pratique des activités retenues après l'analyse marginale.

3.3 ACTIVITES 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.

3.3.1 Activité de jachère

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

a) Définition des activités.

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

b) Description quantitative

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par hectare. La quantification des extrants des activités de jachère est encore à un stade préliminaire de début. Pour le moment nous suivons une approche assez simple.

Le seul intrant de l'activité de jachère est la terre. Les extrants sont des nutriments et matière organique produits pendant les années de repos. Ces apports ont été déterminés de la même façon que les apports naturelles des nutriments 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 inclus 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.

3.3.2 Activité de pâturage

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

a) Définition des activités

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

b) Description quantitative

La méthode de calcul de la production est celle traitée par Breman et 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.

3.3.3 Activités de brûlis des résidus

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

a) Définition des activités

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.

b) Description quantitative

Les quantités d'intrants et extrants sont exprimées par kg de résidu. A côté 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 nutriments 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.

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 nutriments. La MOST et les nutriments 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.

a) Définition des activités

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.

b) Description quantitative

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 nutriments N, P et K à leur taux respectifs dans le résidu, traduit en termes de valeurs d'engrais NPK.

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.

a) Définition des activités

Les coefficients techniques ne sont déterminé que par le type de culture.

b) Description quantitative

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 nutriments qui se trouvent dans le résidu et une capacité de récupérer l'azote volatile des excréments.

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.

a) Définition des activités

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.

b) Description quantitative

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'extrait est le même résidu qui se trouve maintenant transporté à la ferme.

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 nutriments) 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.

a) Définition des activités

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.

b) Description quantitative

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 nutriments 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.

3.4. ACTIVITES D'ELEVAGE

Pour une grande fraction de la population de la zone de soudano-sahélienne 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; ce sont les bovins, ovins et caprins qui ont été considérés.
- l'objectif principal de production: lait, viande, traction
- le niveau d'intensification, niveau d'alimentation ou qualité de menu exigé.
- la stratégie de vente
- et la stratégie fourragère

Il y a deux types d'activités qui ont été définies:

- les activités au sein d'un troupeau avec objectif mixte lait/viande, l'accent pouvant être mis soit sur la viande soit sur le lait.
- les activités d'embouche de production intensive de viande.

Un schéma des intrants et extrants et des interrélations entre types d'activités est donné dans la figure 3.4.1. Comme l'indique ce schéma, il y a trois types d'intrants utilisés: fourrage, main-d'oeuvre et intrants monétaires. Les fourrages sont réparties en 8 catégories de qualités (q_1, \dots, q_8) et, pour les activités de troupeau, en 2 saisons. Les extrants qui sortent de chaque type d'activités sont donnés au tableau 3.4.1.

Figure 3.4.1 Intrants et extrants dans les activités d'élevage

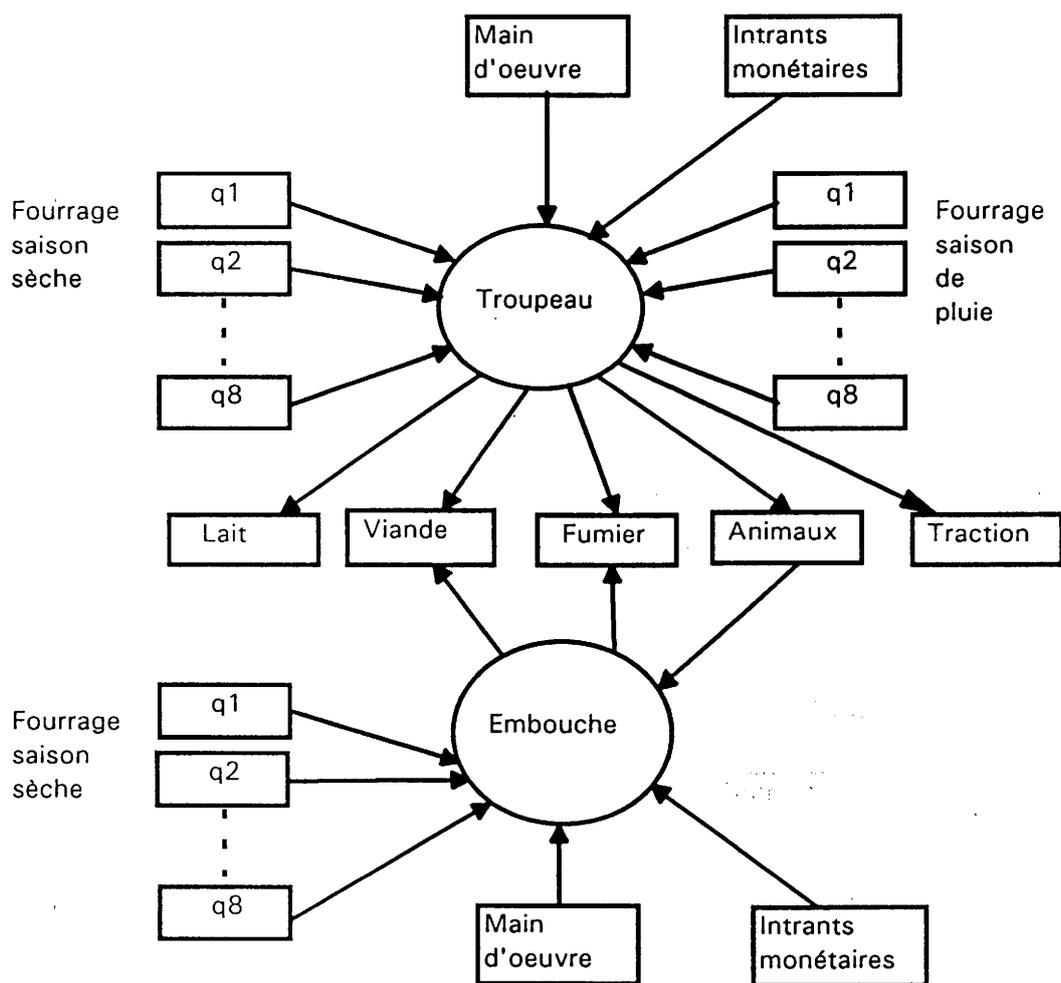


Tableau 3.4.1: *Les types d'activité d'élevage définies avec les objectifs de production et les extrants*

Type d'activités	Objectif	Extrants		Mode d'élevage
		Principal	Secondaires	Sédentaire
Troupeau bovin	Lait	Lait	Viande, fumier, animaux d'embouche	Sédentaire
Troupeau bovin	Viande	Viande	Lait, fumier, animaux d'embouche	
Troupeau bovin	Traction	Traction	Viande, lait, fumier, animaux d'embouche	
Embouche bovine	Viande	Viande	Fumier	Stabulation fixe
Troupeau caprin	Lait	Lait	Viande, fumier	Sédentaire
Troupeau caprin	Viande	Viande	Lait, fumier	
Troupeau ovin	Lait	Lait	Viande, fumier	Sédentaire
Troupeau ovin	Viande	Viande	Lait, fumier	

Le calcul des intrants et extrants est basé sur une approche élaborée par Ketelaars et Bakker (1994). Les relations à la base des calculs sont celles entre:

- la qualité fourragère et l'ingestion volontaire d'un bovin
- l'ingestion et la croissance pondérale

3.4.1. Activités d'élevage en troupeau bovin

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. Onze (11) catégories d'âge (0-12 mois, 1 an, 2, ..., 10 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.

Tableau 3.4.2: Caractéristiques et niveau d'intrants des activités d'élevage de troupeau bovin déjourné

Caractéristiques des activités	ACTIVITES D'ELEVAGE DE TROUPEAU D'OVINS																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	L	V	L	V	L	T	L	V	L	V	L	T	L	V	L	V	L	T	L	V	L	V	L	T
Objectif principal de production (L = lait, V = Viande, T = Trachon)	L	V	L	V	L	T	L	V	L	V	L	T	L	V	L	V	L	T	L	V	L	V	L	T
Qualité de menu ou niveau d'alimentation	1,05	1,05	1,05	1,05	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Niveau d'intensité (SI = Semi-intensif)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
STRATEGIES DE VENTE																								
Age de vente des femelles âgées (Reproduction)	11	11	11	11	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Age de vente des femelles jeunes	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
Age de vente des mâles (jeunes ou adultes)	1	3	8	8	1	3	1	1	3	1	8	8	1	3	1	3	1	8	1	3	1	3	1	8
EXTRANTS																								
Production de viande (kg/UBT/an)	31,4	35,7	29,7	29,7	52,3	39,9	74,2	76,0	57,1	74,2	39,9	48,4	84,2	85,1	84,2	85,1	48,4	48,4	84,2	85,1	85,1	85,1	51,2	51,2
Production de lait (kg/UBT/an)	78,2	7,0	47,7	47,7	151,1	71,7	209,8	161,9	123,1	209,8	71,7	84,1	262,7	189,9	262,7	189,9	84,1	84,1	262,7	189,9	189,9	189,9	91,3	91,3
Nombre de boeufs de labour dans le troupeau/UBT/an	0	0	0,317	0,317	0	0,341	0	0	0	0	0,341	0,324	0	0	0	0	0,324	0,324	0	0	0	0	0,303	0,303
Nombre (par UBT/an) d'animaux sortis pouvant être embouchés:																								
(1). Jeunes de 1 an (mâles ou femelles) 100 kg	0,107	0,07	0	0	0,21	0,012	0,190	0,004	0,01	0,01	0,012	0,010	0,179	0,0017	0,179	0,0017	0,010	0,010	0,179	0,0017	0,0017	0,0017	0,015	0,015
(2). Mâles (200 kg)	0	0,005	0	0	0	0	0,003	0,0148	0,01	0	0,0012	0,0012	0,018	0,039	0,018	0,039	0,0012	0,0012	0,018	0,039	0,039	0,0065	0,0065	
(3). Femelles (200 kg)	0	0,077	0	0	0	0	0,030	0,051	0,106	0	0	0	0,068	0,068	0,068	0,068	0	0	0,068	0,068	0,068	0	0	
(4). Mâles (300 kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(5). Femelles (300 kg)	0	0	0,054	0,054	0	0,010	0	0,083	0,0105	0,010	0,010	0	0	0,004	0	0	0	0	0	0,004	0,004	0	0	
(6). Mâles (400 kg)	0	0	0,002	0,002	0	0,051	0	0	0,051	0,051	0,051	0,060	0	0,124	0	0	0,060	0,060	0	0,124	0,124	0	0	
INTRANTS																								
Intrants en matière organique digestible (t/UBT/an)	1,06	1,07	1,00	1,00	1,08	0,96	1,11	1,09	1,08	1,08	0,96	0,93	1,10	1,07	1,10	1,07	0,93	0,93	1,10	1,07	1,07	0,89	0,89	
Intrant en main-d'oeuvre (homme/animal)	0,0283	0,0283	0,0243	0,0243	0,0372	0,0277	0,0437	0,0413	0,0362	0,0362	0,0277	0,0293	0,0471	0,0436	0,0471	0,0436	0,0293	0,0293	0,0471	0,0436	0,0436	0,0294	0,0294	
Intrants monétaires (Fcf/UBT/an)	0	0	0	0	0,0014	0,0012	0,0026	0,0026	0,0015	0,0015	0,0012	0,0002	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0002	0,0002	0,0035	0,0035	0,0035	0,0025	0,0025	

Quantification d'extrants

Une distinction a été faite entre 4 niveaux de production, correspondant à 4 menus fourragers de différentes qualités. 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. Trois 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 8 ans et des femelles à l'âge de 1 an, 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 12 activités de troupeau bovin ont été définies en combinant 4 niveaux d'alimentation avec 3 stratégies de vente. Les activités définies donnent différents niveaux de production de viande, de lait et d'animaux de traction (tableau 3.4.1). 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 section 3.4.2).

Quantification des intrants fourragers

Il y a huit (8) catégories de qualité qui ont été distinguées en précisant (tableau 3.4.2, voir pour la justification Ketelaars et Bakker (1994) pour chacune d'entre elles les caractéristiques telles que: digestibilité, niveau d'alimentation, et les aliments concernés par ces caractéristiques. 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 culturelles et l'achat de tourteau de coton (qui est le seul aliment acheté).

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 3.4.3.

Tableau 3.4.3: *Les différentes qualités de fourrage utilisées.*

Q	NA	DMO (%)	Aliments en saison sèche	Aliments en saison pluie
1	0.25	35	pâturage N < 4 g/kg MS	
2	0.50	40	pâturage N: 4-6 g/kg MS	
3	0.75	45	pâturage N: 6-8 g/kg MS, andropogon paille de mil, sorgho, maïs	
4	1.00	50	pâturage N 8-10 g/kg MS, feuilles de mil, sorgho, maïs, andropogon, paille de riz	
5	1.25	55	pâturage N: 10-13 g/kg MS, fanes de niébé, arachide, paille de riz traité	
6	1.50	60	pâturage N > 13 g/kg MS bourgou; stylo	pâturage N < 16 g/kg MS
7	1.75	65		pâturage N 16-22 g/kg MS
8	2.00	70	Tourteau de coton	pâturage N > 22 g/kg MS

Note: Q = Niveau de qualité du fourrage ; NA = Niveau d'alimentation du troupeau
DMO = Digestibilité de la matière organique

Tableau 3.4.4: *Besoin en fourrage (en Kg matière sèche) par stratégie fourragère et par saison, niveau d'alimentation 1.10*

Stratégies fourragères	Besoin en fourrage (Kg/animal)							
	En saison de Pluies	En saison sèche par niveau de qualité						
		1	2	3	4	5	6	8
25	522	196			890			
26	522	514				607		
27	522	704					445	
28	522	922						272
29	522		257		822			
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 3.4.2. 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 et Gossèye (1991).

3.4.2. Les 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. 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 huit (08) 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 3.4.5 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. 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.

Tableau 3.4.5: *Caractéristiques des activités d'embouche bovine définies (Suite)*

Caractéristiques des activités	ACTIVITES D'ELEVAGE DE TROUPEAU BOVIN					
	13	14	15	16	17	18
CARACTERISTIQUES						
. Objectif principal de production	V	V	V	V	V	V
. Qualité de menu ou niveau d'alimentation	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
. Niveau d'intensité (SI = Semi-intensif, I = Intensif)	I	I	I	I	I	I
. Types d'animaux embouchés (poids initial)						
(1). Jeunes de 1 an (mâles ou femelles) 100 kg	x					
(2). Mâles (200 kg)		x				
(3). Femelles (200 kg)			x			
(4). Mâles (300 kg)				x		
(5). Femelles (300 kg)					x	
(6). Mâles (400 kg)						x
EXTRANTS Poids initial (kg/animal)						
. GMQ (kg/jour)	0,8	0,57	0,68	0,31	0,54	0,39
. Gain de poids total en 6 mois (kg)	144	103	123	57	98	71
INTRANTS						
. Intrants en matière organique digestible (kg en 6 mois)	568	605	653	605	711	746
. Intrants monétaires	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
. Intranant en main-d'oeuvre (homme/animal/6 mois)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

3.4.3 Activités de traction bovine

Deux activités semi-intensives de traction bovine ont été définies sur la base d'une même qualité de menu (niveau d'alimentation 1,15). Mais ces 2 activités se différencient dans l'origine des boeufs de labour (nés dans le troupeau ou achetés).

Les caractéristiques ainsi que les théories en intrants de ces activités sont présentés au tableau 3.4.6.

Tableau 3.4.6: *Caractéristiques des activités de traction bovines définies*

Caractéristiques	ACTIVITES DE TRACTION	
	1	2
. Objectif principal (T = Traction)	T	T
. Qualité de menu (ou NA)	1,15	1,15
. Niveau d'intensité (SI = Semi-intensif)	SI	SI
. Origine des boeufs de labour		
1 = nés dans le troupeau	x	
2 = achetés		x
EXTRANTS		
. Rendement en poids vif (kg/animal/an)	0	92,5
. Nombre de boeufs de labour/UBT/an	1,508	1,508
INTRANTS		
. Intrants en matière organique digestible (Kg/animal/an)	0,644	1,790
. Intrants monétaires (Fcfa/animal/an)	0,001	0,013
Intrants pour la main-d'oeuvre de dressage (période 30 de l'année Février-Mars): Homme/animal/an	0,342	0,342

3.4.4 Activités d'élevage de troupeau de petits ruminants (ovins/caprins)

Pour la définition de ces activités d'élevage de troupeaux de petits ruminants, ce sont les mêmes critères et paramètres qui ont été utilisés que pour les bovins. A savoir que l'unité considérée est le troupeau constitué de catégories d'animaux d'âge et de sexe différents. La quantification des intrants et extrants se fait aussi sur la base d'une année. Une stratégie de vente définit selon l'objectif de production visé, l'âge de vente des animaux qui ne sont pas nécessaires à la reproduction du troupeau. Pour la quantification des extrants ce sont les mêmes niveaux d'alimentation (qualités de menu) et les mêmes stratégies de vente que pour les bovins.

Ce sont aussi les 8 catégories de qualité qui ont été considérées pour la quantification des intrants fourragers. Il y a 24 activités d'élevage petits ruminants qui ont été définies (dont 12 pour les troupeaux d'ovins et 12 pour les troupeaux de caprins). Les caractéristiques et les tableaux intrants/extrants de ces activités sont exposées aux tableaux 3.4.7 et 3.4.8.

Les activités d'embouche ovine n'ont pas été définies dans ce rapport mais seront définies ultérieurement. Nous procéderons aussi à l'analyse économique partielle de la rentabilité des activités d'élevage définies.

Tableau 3.4.7: Caractéristiques et Tableaux d'intrants et extraits des activités d'élevage de troupeau d'ovins

Caractéristiques des activités	ACTIVITES D'ELEVAGE DE TROUPEAU D'OVINS																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
Objectif principal de production (L = lait, V = Viande, T = Traction)	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V
Qualité de menu ou niveau d'alimentation	1,05	1,05	1,05	1,05	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Niveau d'intensité (SI = Semi-intensif)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
STRATEGIES DE VENTE	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Age de vente des femelles âgées (Reproduction)	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
Age de vente des femelles jeunes	1	2	3	3	1	2	1	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	3
Age de vente des mâles (jeunes ou adultes)																								
EXTRANTS																								
. Production de viande (kg/UBT/an)	73	76	65	65	107	107	105	105	123	123	133	133	133	133	133	133	133	133	160	158	158	126	126	
. Production de lait (kg/UBT/an)	0	0	0	0	135	123	135	135	123	123	95	95	281	247	247	247	184	184	393	333	333	238	238	
INTRANTS																								
. Intrants en matière organique digestible (t/UBT/an)	2,00	1,99	1,95	1,95	1,91	1,91	1,93	1,93	0,135	0,135	1,85	1,85	1,89	1,86	1,86	1,78	1,78	1,84	1,84	1,80	1,80	1,69	1,69	
. Intrant en main-d'oeuvre (homme/animal)	0,135	0,134	0,126	0,126	0,137	0,135	0,137	0,137	0,135	0,125	0,125	0,125	0,139	0,137	0,137	0,124	0,124	0,135	0,135	0,135	0,135	0,118	0,118	
. Intrants monétaires (Fctâ/UBT/an)	0	0	0	0	1 646	1 627	1 646	1 646	1 627	1 627	1 504	1 504	2 787	2 743	2 743	2 491	2 491	34 856	34 856	34 090	34 090	30 398	30 398	

Tableau 3.4.8: Caractéristiques et Tableaux d'intrants et extraits des activités d'élevage de troupeau de caprins

Caractéristiques des activités	ACTIVITES D'ELEVAGE DE TROUPEAU DE CAPRINS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Objectif principal de production (L = lait, V = Viande, T = Traction)	L	V	V	L	V	V	L	V	V	L	V	V
Qualité de menu ou niveau d'alimentation	1,05	1,05	1,05	1,10	1,10	1,10	1,15	1,15	1,15	1,20	1,20	1,20
Niveau d'intensité (SI = Semi-intensif)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
STRATEGIES DE VENTE	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Age de vente des femelles âgées (Reproduction)	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2
Age de vente des femelles jeunes	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Age de vente des mâles (jeunes ou adultes)												
EXTRANTS												
· Production de viande (kg/UBT/an)	94	95	85	115	114	101	130	128	112	142	140	121
· Production de lait (kg/UBT/an)	0	0	0	139	122	95	274	235	179	375	315	234
INTRANTS												
· Intrants en matière organique digestible (t/UBT/an)	2,09	2,07	2,04	2,03	2,01	1,96	1,97	1,94	1,88	1,91	1,87	1,80
· Intrans en main-d'oeuvre (homme/animal)	0,152	0,151	0,145	0,161	0,159	0,151	0,163	0,160	0,151	1,605	1,570	1,471
· Intrants monétaires (Fcf/UBT/an)	0	0	0	1 940	1 910	1 820	3 260	320	3 020	41 280	40 390	37 840

4. MODELISATION

Dans le présent chapitre les premiers résultats des modèles de programmation linéaire pour le niveau régional et le niveau ferme seront présentés dans les sous-chapitres 4.3 et 4.4. Le sous-chapitre 4.2 contient la spécification assez détaillée des modèles utilisés et présente la programmation linéaire à buts multiples est présentée: l'explication de la méthode et une discussion de ses possibilités et de ses limites.

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 et Spronk (1980), Spronk et Veeneklaas (1983), van Keulen (1990), de Wit et al; (1988), Spharim, et al. (1992), Romero and Rehman (1989), Veeneklaas et al. (1991), et van Keulen et 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 5-ème 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 et 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.

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. 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	35000	50000
besoin en main d'oeuvre (période de pointe)	actif/ha	3	5

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

$$\begin{aligned} \text{Max: } & 35000 * \text{Supm} + 50000 * \text{Supc} && \text{(fonction objectif)} \\ \text{sous conditions: } & && \\ & \text{Supm} + \text{Supc} \leq 4 && \text{(restriction disponibilité en terre)} \\ & 3 * \text{Supm} + 5 * \text{Supc} \leq 15 && \text{(restriction disponibilité main d'oeuvre)} \\ & \text{Supm} \geq 0, \quad \text{Supc} \geq 0 && \text{(conditions de non-négativité)} \end{aligned}$$

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 (35000 et 50000) 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	12500	0	50000
Main d'oeuvre			
Disponibilité	15	15	15
Utilisation	15	15	10
Coût d'opportunité	7500	11667	0
Valeur fonction objectif	162500	175000	100000

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 35000/3 (Fcfa/actif), le coton la valorise à 50000/5. 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), 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 le coût

d'opportunité de la terre est zéro. Pour la main d'oeuvre on trouve une valeur marginale de 11667 Fcfa/actif (dans la période de pointe). Un actif additionnel serait utilisé pour cultiver encore plus de maïs, un tiers d'un ha ce qui ajouterait $35000/3 = 11667$ 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 (50000/ha contre 35000/ha pour le maïs). Noter 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 50000 Fcfa/ha. 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:

1. La loi de la diminution de la valeur marginale d'un facteur productif est considérée voit si on suit la valeur marginale de la terre à travers les cas C, A, B (2, 4, 6 ha). Elle baisse de 50000 à 12500 puis s'annule.
2. 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) augmente. La valeur marginale de la main d'oeuvre augmente de zéro à 7500 puis à 11667 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.

La procédure de la Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM)

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 rurale, 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.

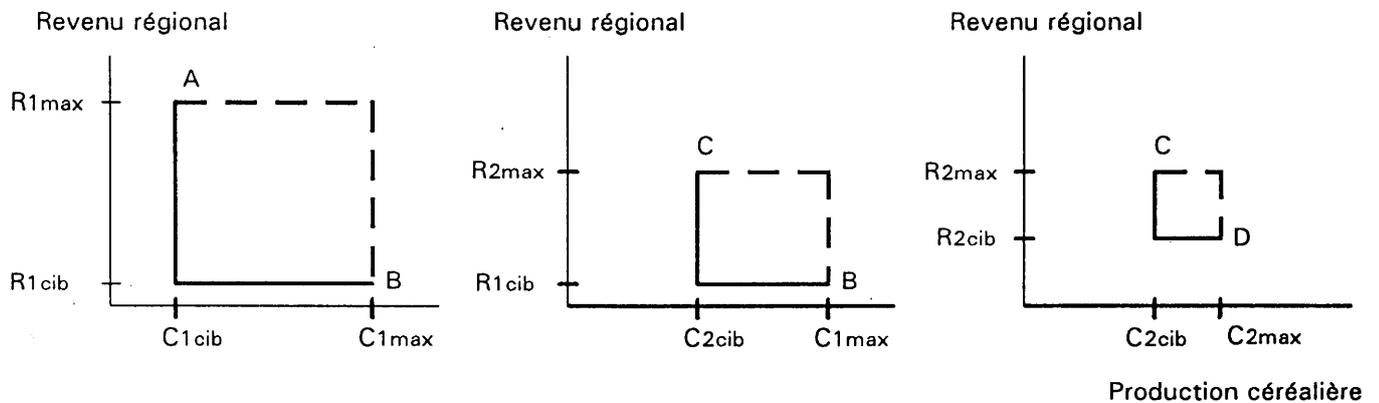
Il y a au moins deux manières de tenir compte des différents objectifs: le premier est d'assigner des poids à tous les objectifs et de faire une fonction objectif qui est la moyenne pondérée de l'ensemble des objectifs. Un désavantage de cette méthode est que l'assignation des poids aux objectifs est difficile. Il y a néanmoins des approches pour résoudre ce problème (Kruzeman et al., 1994). 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. C'est cette méthode qui a été utilisée.

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 pour la région ou l'exploitant.

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 figure 4.1.1 illustre le principe d'interrelation de ces objectifs dans la méthode PLBM. La figure 2a dépeint une situation exigeant un revenu régional d'au moins I_1 . Le niveau de production céréalière maximum que l'on peut atteindre, compte tenu de cette restriction, est calculé dans une séquence PL et est désigné par C_1^* . On obtient ainsi le point $I_1 C_1^*$. De même, le point $C_1 I_1^*$ peut être obtenu en supposant que C_1 est le niveau de production céréalière minimum acceptable et I_1^* 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 C_2^* , le revenu régional maximum correspondant décroît au niveau I_2^* par exemple, étant donné que moins de terres pourront être mises à la disposition pour la pratique de cultures. La situation qui en résulte est présentée à la figure 2b. Enfin, la figure 2c indique comment l'espace disponible est de nouveau réduit si le revenu régional minimum requis augmente pour atteindre le niveau I_2 ; la production céréalière maximum que l'on peut atteindre décroît au niveau C_2^* . On peut donc constater que la solution optimale dépend, autant sinon plus, des restrictions que de la spécification de la fonction objectif.

Figure 4.1.1 Illustration du principe de la programmation linéaire à buts multiple; l'explication est donné dans le texte.



Points A représentent le revenu maximale si une production de maïs de C1-cible est exigé respectivement. Le point B représente la production de maïs maximale si un revenu de R1-cible est exigé. Le volume du rectangle indique la mesure dans laquelle il y a encore une marge de manoeuvre.

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 nutriments 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 culturales 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 cultureux, 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 prises 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 dégradés, 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.

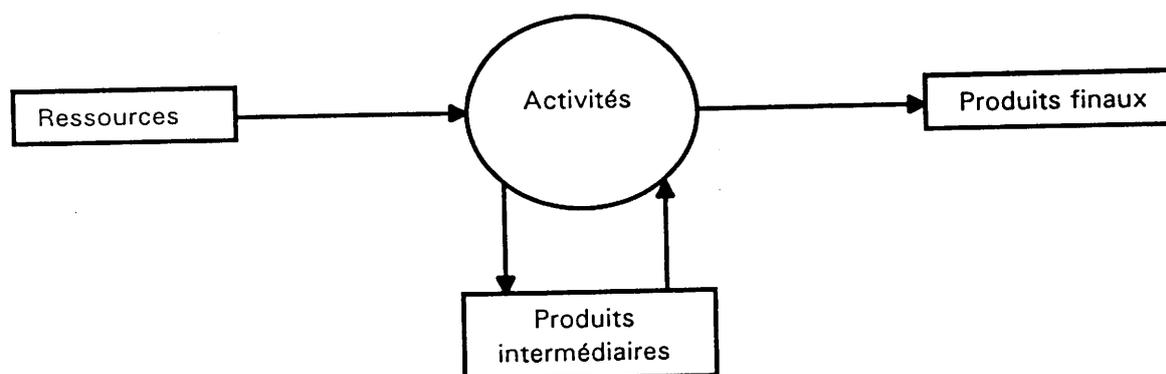
4.2. DESCRIPTION DU MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE

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. 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 expliquée à travers l'exemple du sous-chapitre 4.1.

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 figure 4.2.1 est une illustration de ce processus.

Figure 4.2.1 Le processus de production des activités



La figure 4.2.2 donne une vue globale des éléments qui constituent le 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.

Une distinction est faite entre trois types d'activités. Dans les activités culturales, 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 p.ex. 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.

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". D'abord le texte du 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 l'EXCELL.

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 par le logiciel XPRESS.

```

MODEL exemple                ! Nom du modèle

VARIABLES
Supm                         ! Superficie mais
Supc                         ! Superficie coton

CONSTRAINTS
obj      : 35000*Supm + 50000 * Supc $    ! fonction objectif
terre   : Supm + Supc < 4                ! restriction pour la terre
mo      : 3*Supm + 5* Supc < 15          ! restriction pour la main d'oeuvre

```

Ce modèle est constitué des parties suivantes:

MODEL donne un nom au modèle
 VARIABLES les variables du modèle énumérées
 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 " \leq " et " \geq ", 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 p.ex. 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 Culturelles
LET mo_disp = 15                        ! Disponibilité en main d'oeuvre
LET ter_disp = 4                        ! Disponibilité en terre

VARIABLES                                !
AC(NAC)                                 ! Activités Culturelles (1=Maïs, 2=Sorgho [ha])

TABLES                                    !
Bmo (NAC)                                ! Besoin main-d'oeuvre par activité de culture [homme/ha]
Rev_net (NAC)                            ! Revenu net par activité culturelle        [Fcfa/ha]

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 défini 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 $j=1, \dots, NAC$. 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 le vecteur de variables AC. Mais les valeurs stockées dans le tableau Rev_net ne sont pas données dans le texte du modèle. DISKDATA indique dans quel fichier les données sont stockées dans la section DISKDATA. Dans ce cas le fichier est C:\XPRESS\DATA\rnet_ex.dat. Les données de l'autre tableau défini (Bmo) se trouvent dans le fichier C:\XPRESS\DATA\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.

Récapitulatif, les nouvelles sections utilisées sont les suivantes:

- TABLES définit les tableaux (noms et dimensions) qui contiennent des coefficients techniques.
- DISKDATA indique pour les différents tableaux dans lesquels les fichiers de données sont stockés.

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**.

4.2.3 Explication technique du modèle

Au préalable

Le modèle de programmation linéaire développé par l'EMS permet de déterminer l'allocation optimale des ressources en terre et en main d'oeuvre aux différentes activités économiques de production végétale et animale définies dans la zone soudano-sahélienne du Mali. La zone est divisée en 15 sous-zones numérotées dans le modèle de 1 à 15. Chaque sous-zone est caractérisée par sa superficie totale et sa population (voir chapitre 2.3). Il est supposé que 55% de la population est disponible comme actifs pour exécuter les activités économiques. La superficie est répartie entre 17 substrats, dont 7 sont des terres inondables. Le nombre de

combinaisons sous-zone-substrat est théoriquement 255 ($5 \times 17 = 255$). Le nombre réel de combinaisons sous-zone-substrat est de 171, ceci du fait que certains substrats n'existent pas dans certaines sous-zones.

Pour chaque sous-zone un nombre d'activités économiques de production végétale et animales ont été définis en spécifiant leur production (grain, paille, viande, lait, etc) ainsi que les besoins en intrants (terre, main d'oeuvre, engrais, fumier, fourrage, etc).

Description du modèle

Le modèle utilisé par l'EMS comprend 6 parties.

I. MODEL

Dans cette partie le nom du modèle est spécifié et les dimensions des différentes variables et tableaux de coefficients techniques sont définies.

II. VARIABLES

Dans cette section les noms des variables de décision dans le modèle sont déclarés, avec, entre parenthèses, leur dimension. Par exemple, la ligne

Acul(NAcul)

spécifie qu'il y a NAcul (=4914) variables du nom Acul. A l'intérieur du modèle ils ont les noms Acul(1), Acul(2), ..., Acul(4914).

Une distinction est faite entre les variables de décision et les variables auxiliaires. Les variables auxiliaires sont dérivées des variables de décision. Les variables auxiliaires dérivées pourraient être enlevées du modèle sans le changer au fond. En d'autres termes tout le modèle pourrait s'écrire sans utiliser les variables auxiliaires. Un exemple: la variable PIC(1,2) est une variable auxiliaire, qui est défini comme la production principale de la culture 2 (sorgho) en sous-zone 1. Elle est dérivée des variables Acul(1) ,..., Acul(4914), selon l'expression employée dans la partie 6 (CONSTRAINTS), ligne d801:

$$\text{SUM}(a=1:\text{NAcul} \mid \text{sz_cul}(a).\text{eq.1} \text{ .AND. } \text{cult_cul}(a).\text{eq.2}) \text{ Y1cul}(a) * \text{Acul}(a)$$

On pourrait partout où la variable PIC(1,2) est utilisée dans le modèle, la remplacer avec cette expression. Cela ne changerait rien dans le modèle. Elle est néanmoins incluse pour faciliter la description des restrictions et pour les rendre plus compréhensibles.

Trois groupes de variables de décision sont distingués. Le premier groupe est celui d'utilisation de terre: cultures pluviales, cultures inondées, jachère, pâturages et sylviculture. Le deuxième groupe est celui d'utilisation de résidus de récolte: brûlage, enfouissement, fourrage au champ, transport à la ferme. Les résidus transportés à la ferme peuvent être utilisés comme fourrage ou comme litière. Le transport de fumier de la ferme au champ est aussi compté dans ce groupe. Le dernier groupe est constitué par les activités d'élevage, qui peuvent être divisées en activités de production et activités fourragères. Dans le premier type d'activité la production est décrite avec le besoin en matière organique digestible (MOD) (par animal ou par UBT par an). Les activités fourragères décrivent quelles quantités des différents fourrages fournissent une tonne de MOD .

III. TABLES

Dans cette partie sont spécifiés tous les tableaux de coefficients techniques utilisés dans le modèle. Il s'agit pour la plus grande partie de coefficients d'intrants et d'extrants des activités décrites dans la partie II (les vrais variables de décision). Il y a aussi quelques tableaux qui contiennent d'autres données (prix, superficies, etc).

IV. DISKDATA

Il indique où se trouvent les coefficients pour les différents tableaux. De cette partie seulement les premières lignes sont données.

V. ASSIGN

Il est possible d'assigner des valeurs à un tableau ou une partie d'un tableau à l'aide de calculs simples. Cela se fait dans la section ASSIGN.

VI. CONSTRAINTS

Cette partie contient les restrictions du modèle ainsi que la/les fonction(s) objectif(s). Dans le modèle actuel il y a 6 types de bilan (1 à 6), 3 sections où les variables générales sont calculées (7, 8 et 9) et 1 section (10) qui spécifie les objectifs qu'on pourrait utiliser comme fonction objectif, et les niveaux cibles de certaines variables.

1. Bilan de terre: Les lignes d10 jusqu'à d15 définissent les variables auxiliaires qui décrivent pour une combinaison sous-zone/substrat donné la superficie totale alloué à la pâture, aux cultures pluviales, à la sylviculture, etc. Elles contiennent une expression qui a besoin d'être expliqué. Il s'agit de la deuxième partie de l'intérieur des parenthèses, qui est pour la ligne 'd10':

$$|zs_pat(a).eq.s$$

Le caractère "|" exprime que la suite est une condition. Dans la somme des terres pâturées seront escomptés seulement les activités (indice: a) pour lesquelles la condition posée soit rempli. savoir que . , remplissent cette condition. Dans ce cas, la condition est que le numéro de la combinaison sous-zone/substrat doit correspondre avec la valeur (s) dans la variable tpat. L'opérand ".eq." équivaut au signe d'égalité "=". Il y a de pareilles expressions pour ">" (.gt.), "<" (.lt.), "≥" (.ge.), "≤" (.le.), d'après les abréviations anglaises.

Les activités (sylvi-)culturales, y inclu la jachère doivent être exécutées sur des terres qui ne sont pas trop éloignés d'un point d'eau permanent. Le cultivateur doit pouvoir aller et retourner de sa maison au champ. Comme distance maximale, l'ESPR, Mopti (1990) indique une distance de 6 km. Pendant la saison sèche l'élevage se fait dans un rayon de 15 km autour des points d'eau permanents. Ces deux types d'exigences sont traduits dans les restrictions 'tera' et 'terb' et sont appliquées au niveau de toutes les combinaisons sous-zone-substrat. La restriction 'terc' reflète l'exigence que l'utilisation de terre ne peut pas dépasser la superficie disponible.

Les restrictions sont en vigueur au niveau de chaque combinaison sous-zone/substrat, indiqué dans le modèle par l'indice zs. Cet indice ne doit pas être confondu avec l'indice 'sz', qui indique la sous-zone.

2. *Bilan de résidus de récolte*: La quantité en sous-produit d'une culture donnée doit être au moins supérieure ou égale à l'ensemble des quantités brûlées, enfouies, broutés au champ, ou transportés à la ferme. Ceci est reflété par l'inégalité 'p2c' et est imposé au niveau de chaque combinaison sous-zone/substrat-culture. Ainsi le nombre d'équations générés par la ligne qui commence par 'p2c' est plus de 700.

La quantité de résidu de récolte utilisée à la ferme comme fourrage ou comme litière ne peut pas dépasser la quantité qui y est transporté (restriction 'd2f'). La restriction est appliqué au niveau de chaque combinaison sous-zone/culture.

3. *Bilan fourrager*:

a. **Matière organique digestible (MOD)**. Pour les cinq types d'élevage (bovins, caprins et ovins en troupeau mixte, bovins d'embouche et boeufs de labour) la quantité disponible en MOD doit couvrir les besoins. Ces exigences sont reflétées par les restrictions 'modbov', ..., 'modbl'. Ce type de restriction est appliqué pour chaque type d'élevage au niveau de chaque sous-zone et pour chaque qualité de menu. La manière de spécifier ces restrictions semble être plus compliquée que nécessaire mais elle créait la possibilité de remplacer la MOD d'une qualité donnée par la MOD d'une qualité supérieure. Les besoins en MOD sont calculés sur la base des activités de production animale (Abov, Amb, Acap, Aov et Abl).

Les quantités en MOD sont fournis par un nombre de fourrages de différentes qualités. Les activités fourragères assurent que leur mélange se fait d'une telle façon que la qualité corresponde aux exigences ou besoins.

b. **Fourrages** Les restrictions 'fp' et 'fs' décrivent l'exigence que les besoins en fourrage d'une certaine qualité pendant la saison sèche et la saison de pluie ne doivent pas dépasser la disponibilité. Ces restrictions permettent également de remplacer un fourrage par un fourrage d'une qualité supérieure.

Les restriction flpx, flpn, flsx, flsn se rapportent aux fractions maximales et minimales des fourrages ligneux dans le menu des caprins et des ovins. La restriction 'supp' limite la quantité du supplément tourteau de coton à un quart de la production cotonnière.

Finalement un calcul est fait pour savoir quelle partie des fourrages disponibles n'est pas ingéré. Cette quantité doit être connu pour pouvoir calculer le flux réel en éléments nutritifs.

4. *Bilan d'éléments nutritifs*: Il y a trois types d'activités qui exopotent les éléments nutritifs (matière organique, azote, phosphate et potasse, ou MO, N, P et K) du sol. Ce sont les activités de culture pluviale, de culture inondée et de sylviculture. Les quantités perdues sont les éléments dans les produits principaux (grain, coton, bois) et secondaires (pailles), y soustrait l'apport naturel. Les "activités" de pâturage sont définies d'une telle façon que il n'y a ni un apport ni un prélèvement d'éléments nutritifs aux parcours alloués à la pâture. Les

activités de jachère, par contre, augmentent la disponibilité des éléments nutritifs.

Les éléments nutritifs contenus dans les produits principaux disparaissent tout à fait du système, celles dans les résidus de récolte peuvent être partiellement recyclés. Les quantités recyclés diffèrent selon l'utilisation des résidus: brulage, enfouissement, fourrage au champ, transport à la ferme. D'autres manières de augmenter les taux en éléments nutritifs sont le transport du fumier et l'épandage d'engrais chimiques. L'équilibre des 4 bilans (MO, N, P et K) au niveau de chaque combinaison sous-zone/substrat est garanti par les restrictions 'fer' (abréviation de fertilisant).

La fumure transporté au champ doit d'abord être accumulé au niveau du parc, dans les tasses de litière, etc. Le calcul des quantités des éléments nutritifs apportés est basé sur les teneurs en éléments nutritifs des fourrages qui ont servi comme fourrages pour le bétail. C'est la raison pour laquelle dans le calcul de la disponibilité des fertilisants au niveau ferme (Dferf, ligne 'd42') les activités d'élevage n'interviennent pas. Pour éviter une surestimation systématique de ces quantités, une réduction de l'apport venant des pâturages basé sur la quantité de fourrage non-ingéré est incorporé dans les calculs (ligne 'd42').

Dans un sens strict l'entité 'fumier' ne figure pas dans le modèle. Le modèle ne reconnaît que les 4 éléments nutritifs. Les restrictions 'tfx', 'tfn', 'frfx', et 'frfn' sont inclus pour exclure la possibilité de transport d'une, de deux ou de trois des quatre éléments. S'il y a un transport de matière organique, il faut qu'il y a aussi un transport de N, P et K. Les quantités de N, P et K relatif à celle de la matière organique ne peuvent pas dépasser un certain minimum ou maximum. Il en est de même pour le fumier qui n'est pas transporté.

Normalement l'azote de l'urine (Nurin) est perdu par la volatilization. Si on utilise de litière il y aura une fixation de N qui diminue cette perte. La quantité d'azote qui peut être fixé dépend de la quantité de paille de litière utilisé. Voilà le contenu des lignes 'd431', 'd432', 'nfix', et 'nurin'. La quantité N_{xtra} figure dans la ligne 'd42'.

La dernière partie qui concerne le bilan d'éléments nutritifs décrit que l'utilisation de litière est limité par le temps que les animaux mettent pour piétiner cette litière. Le temps est décrit par la variable Nubtnuit, la restriction s'est traduit dans la ligne 'litbro'.

5. Bilan des animaux:

a. Boeufs de labour. Les boeufs de labour peuvent être achetés ou être nés dans un troupeau. Le nombre qui vient du troupeau est limité par la mesure dans laquelle il y a de troupeaux qui fournissent des boeufs de labour (ligne 'provbl'). Dans le modèle il est supposé qu'il n'est pas possible que tous les boeufs soient achetés. La fraction maximale achetée est de 20%. La ligne 'bl' exige que les besoins en boeufs de labour soient pas plus grande que la disponibilité.

b. Les bovins d'embouche d'un poids initial donnée doivent d'abord être fourni par les troupeaux des bovins, ce qui est reflété par la ligne 'typmb'.

6. *Bilan de main d'oeuvre*: Pour chacune des activités le besoin en main d'oeuvre est calculé par période. Pour chaque période les besoins en main d'oeuvre doivent être inférieurs ou égaux au nombre d'actifs disponible (lignes 'd61' et 'mo').

7,8,9

Les sections 7, 8, et 9 décrivent la définition quantitative des différents variables dérivées informatives.

10. *Objectifs*: Dans cette dernière partie les variables objectifs sont d'abord définies. Ces variables sont le revenu net, la production cotonnière, la production céréalière dans une année normale et dans une année sèche, la production de poids vif (viande), et celle de lait.

Pour les produits auto-consommés (céréales, bois de chauffe, bois de construction, poids vif, et lait) des valeurs minimales par habitant ont été dégagées. Ces valeurs minimales pour ces 5 produits sont exigées au niveau de chaque sous-zone. Avec la ligne 'int' le niveau de production intensif pour le mil, le sorgho et le maïs, est exclu.

Les dernières lignes décrivent quelles variables objectifs peuvent servir comme fonction objectif à maximiser. Il s'agit de revenu net, de la production de coton, de poids vif, de lait et des céréales.

Le tableau suivant résume les bilans les plus importants inclus dans le modèle. La colonne "nom" se réfère au nom de la restriction dans le modèle, voir l'annexe.

Ressource/produit intermédiaires	bilan équilibré exigé par	nom
Terre	comb. sous-zone/substrat	tera, terb, tere
Produit secondaire au champ	comb. sous-zone/substrat-culture	p2c
Produit secondaire à la ferme	comb. sous-zone/culture	d2f
Matière organique digestible	sous-zone et qualité	
Fourrage saison de pluie	sous-zone et qualité	fp
Fourrage globale saison sèche	sous-zone et qualité	fs
Fourrage embouche, saison sèche	sous-zone et qualité	fsmb
Éléments nutritifs au champ	comb. sous-zone/substrat	
Éléments nutritifs à la ferme	type de sol	ferf
N volatilisable fixé par résidus	sous-zone	nfix
N volatilisable dans l'urine	sous-zone	nurin
Temps de broyage pour litière	sous-zone	litbro
Boeufs de labour	sous-zone et période	bl
Animaux d'embouche	sexe/poids initial et sous-zone	typ_emb
Main d'oeuvre	sous-zone et période	mo

4.3 MODELISATION AU NIVEAU ZONE SOUDANO-SAHELIENNE

4.3.1 Rappels sur les ressources disponibles

Dans le chapitre 2.2, les ressources disponibles (Sols, population etc..) ont été décrites selon les 15 sous-zones ou unités Sols/Climats définies dans cette zone. Les analyses au niveau du modèle se feront sur la base de ces ressources disponibles et des activités définies (chapitre 3), en fonction des stratégies ou scénarios de développement élaborés.

4.3.2 Définition de deux scénarios (ou stratégies de développement)

Dans ce sous chapitre les premiers résultats du modèle pour la zone soudano-sahélienne seront présentés. Comme signalé dans le chapitre 4.1, le modèle est un outil d'analyse qui sera utilisé à ce niveau pour l'analyse d'un scénario de base et un scénario alternatif. Pour les deux scénarios cinq fonctions objectives ont été utilisées pour avoir une idée des possibilités de production.

Le scénario de base est celui dans lequel une production minimale par sous/zone est exigée pour les céréales, pour le bois de chauffe et de construction, pour le lait, et pour la viande. Dans le scénario alternatif ces minima ne sont pas exigés. Les cinq fonctions objectives considérées sont: le revenu net, la production cotonnière, la production céréalière, la production de viande et la production de lait.

4.3.3 Résultats scénario de base; (fonction objectif: maximiser le revenu)

Allocation des terres: La zone allouera 88 % de ses terres aux pâturages, 7 % aux cultures dont un quart aux cultures inondées, 1 % à la sylviculture et 2 % des terres sont non utilisées. La pratique de la jachère sera donc presque abandonnée. Il y aura très peu de terre non utilisée. La sylviculture sera pratiquée seulement pour satisfaire les besoins en bois, notamment en bois de construction. Avec le prix du bois figurant dans le modèle et les intrants monétaires élevés pour les enclos, la sylviculture n'est pas une activité rentable. Le modèle tente alors de minimiser la terre consacrée à la sylviculture.

Les sous-zones 2.1; 3.1 et 3.2 qui se trouvent au Nord alloueront plus de 95 % de leur terre aux pâturages. En général, la portion de la terre allouée aux cultures pluviales augmente au fur et à mesure qu'on descend vers le Sud. Les résultats par zone et par activités sont consignés dans le tableau suivant:

Tableau 4.3.2.1: Allocation optimale des terres selon le modèle par sous/zone et par type d'activité

Sous-zone	Superficie	Culture	Culture inondée	Jachère	Pâturage	Sylvi-culture	terre nue	Superficie (%)
1.1	22 883	9	0	1	89	1	0	5
1.2	24 589	9	0	6	84	1	0	6
1.3	25 545	4	0	7	88	0	0	6
2.1	25 826	2	0	1	96	0	0	6
2.2	21 750	5	1	0	92	0	1	5
2.3	20 058	6	0	5	88	0	0	5
2.4	13 506	12	0	0	87	1	0	3
3.0	28 152	2	4	0	80	7	8	7
3.1	45 875	0	0	0	98	0	2	11
3.2	60 160	3	0	1	95	1	0	14
3.3	33 715	4	6	0	80	1	9	8
3.4	36 628	0	9	0	81	1	8	9
3.5	24 601	10	5	0	84	1	0	6
3.6	18 956	16	0	0	82	1	0	5
3.7	14 694	18	0	0	81	1	0	4
Total	416 938	22 418	8 109	5 589	366 960	4 429	9 433	100
%	100	5	2	1	88	1	2	

La production agricole

Dans certaines sous/zones l'exigence d'autosuffisance céréalière limite le revenu total. Dans d'autres sous/zones, notamment là où le riz peut être cultivée, cette production est atteinte aussi sans qu'elle soit exigée.

Le tableau 4.3.2.2 montre également quelques données sur les productions, les superficies et les rendements dans la situation actuelle. Une comparaison des deux tableaux a mené aux observations suivantes:

- le modèle indique un potentiel pour la production de coton qui surpasse largement la production actuelle.
- Le modèle a fourni la production de riz par rapport aux autres céréales, telles que ces dernières sont produites en moindre qualité que dans la réalité.
- les rendements moyens en riz mais surtout en maïs sont très élevés relativement aux niveaux actuels.

Tableau 4.3.2.2: *Production des produits principaux des cultures par sous/zone; superficie totale et rendements par culture*

Sous-zone	Mil	Sorgho	Maïs	Niébé	Arachide	Coton	Riz
1.1	0	37	0	36	0	0	0
1.2	0	0	27	0	0	8	0
1.3	0	0	12	0	0	5	0
2.1	1	17	0	4	0	0	0
2.2	0	1	0	6	0	0	6
2.3	0	6	11	0	12	0	0
2.4	0	0	31	0	2	18	0
3.0	5	0	0	0	0	0	8
3.1	1	0	0	0	0	0	1
3.2	4	0	0	25	0	0	0
3.3	0	39	0	7	0	0	1
3.4	0	0	0	0	0	0	60
3.5	0	0	0	12	86	12	23
3.6	23	0	19	0	0	31	1
3.7	67	0	0	10	0	26	0
% total	100	100	100	100	100	100	100
Production	308 671	295 050	430 054	74 511	93 509	1 111 693	1 838 415
Superficie	2 642	3 080	1 571	3 487	839	8 274	7 549
Rendement	1 168	958	2 737	214	1 115	1 344	2 435
Situation actuelle							
Production	700 000	1 000 000	180 000	45 000	130 000	240 000	430 000
Superficie	1 300	1 000	280	145	160	200	260
Rendement	600	800	650	300	700	1 200	1 700

La production animale

Comme l'indique la grande fraction des terres qui est pâturée, l'élevage est aussi une activité d'une importance considérable selon le modèle. Selon les résultats, la région disposera d'environ 8 million UBT, dont 4 % de caprins, 2 % de boeufs de labour acheté ailleurs et 94 % de bovins en troupeau. Mais les activités d'embouche de bovin et les activités d'élevage des ovins ne pas choisies.

La production laitière est telle qu'une consommation de 300 litres par personne par an est possible. La production de viande qui est estimée à 50 % de la production de poids vifs est un peu plus de 50 kg par habitant. Ces productions surpassent largement les niveaux cibles actuels, qui sont de 40 et de 10 kg par habitant par an pour le lait et la viande, respectivement.

Le niveau de production est lié à la qualité du menu choisie par les bovins représente environ 100 % du niveau le plus élevé. C'est surtout le troupeau qui maximise la production laitière qui est favorisée par le modèle. Le troupeau qui fournit les boeufs de labour vient en deuxième position. La production de viande n'est choisie que dans la sous-zone 3.2.

Apparemment les fourrages de qualité font par défaut. Une analyse de la disponibilité et des besoins en fourrage fait ressortir que pendant la saison de pluies il y a un grand surplus, qui vaut environ 50 % des besoins. La disponibilité vient des strates herbacées et ligneuses des pâturages naturels. Pendant la saison sèche il y a une disponibilité totale qui surpasse aussi longuement les besoins. Mais seulement pour les fourrages d'une basse qualité. Le tourteau de coton qui est un fourrage de meilleure qualité est achetée en quantité de 230 000 tonnes, ce qui est un peu moins que la qualité disponible totale. En comparaison avec la situation actuelle, où la quantité totale de l'Aliment Bétail HUICOMA (ABH), qui est aussi un sous produit cotonnier, est inférieure à 100 000 tonne, les besoins en tourteau de coton sont néanmoins élevés.

Les fourrages d'un niveau d'alimentation de 1,25 et 1,5 (voir le sous chapitre 3.4) sont aussi tout à fait utilisé. La contribution des cultures fourragères (y inclus les fanes de niébé et d'arachide) vaut 25 % et 5 % respectivement, de la disponibilité totale de ces deux catégories de fourrage.

Le rôle des cultures fourragères est encore assez petit, mais avec une croissance démographique il doit probablement augmenter. Ceci sera vérifié en tournant le modèle avec une population plus élevée.

Bilan en éléments nutritifs et achats d'engrais

Le bilan en éléments nutritifs pour la zone totale est donné au tableau 4.3.2.3 qui montre que la matière organique doit venir surtout du fumier transporté de la ferme au champ. Les animaux broutent au champ fournissent 14 %, les terres en jachères 4 %. L'apport d'engrais nécessaire est surtout élevé pour l'azote: environ 160 00 tonne d'azote pur devrait être acheté. Les dépenses totales pour l'engrais monte jusqu'à 75 millions de Fcfa, environ 10 fois la somme dépensée à l'heure actuelle.

Tableau 4.3.2.3: *Bilan des éléments nutritifs*

Fertilisants	Most	Azote	Phosphore	Potasse
Transport	82	23	70	55
Broutage	14	1	3	12
Jachère	4	1	4	5
Enfouissement	0	0	0	0
Brûlage	0	0	1	2
Engrais	0	74	23	26
Disponibilité	426 996	217 846	26 888	137 133
Besoins	334 765	217 400	18 866	132 622

4.3.3 Résultats scénario de base avec autres fonctions objectifs et scénario alternatif

Le modèle a été utilisé pour le scénario de base avec d'autres fonctions objectifs. Les résultats sont donnés dans le tableau 4.3.3.1. Ce tableau montre que avec le lait comme fonction objectif la production laitière maximale, sous condition des restrictions pour le bois, les céréales et la viande, est de 2,4 millions de tonnes. Par contre si c'est le revenu qui est la fonction objectif, la production de lait est de 1,6 millions de tonnes. C'est ce chiffre qui est donné dans la première colonne pour la variable OPLait. Le tableau indique donc les valeurs des variables objectifs relatifs à leur maximum.

Dans le scénario où les restrictions sur les productions minimales de bois, de céréales, de lait ne sont pas en vigueur, les valeurs sont un peu plus élevée (5 à 10 %). Cela veut dire que les exigences n'ont pas une grande influence sur le résultat de la fonction objectif.

Tableau 4.3.3.1: Valeurs de quelques variables

VARIABLES		OBJECTIF					
		Revenu	Lait	Poids vif	Coton	Céréales	Maximum
Production de céréales	OPcer	2868073	1 446 096	1 439 218	2 268 664	7 373 303	7 373 303
-id- année sèche	OPcers	2387010	1 140 289	1 140 211	1 924 360	6 304 530	6 304 530
Production de viande (pv)	OPpv	580728	803 872	836 128	218 047	126 304	836 128
Production de coton	OPcot	1111694	33 780	60 770	1 498 757	0	1 498 757
Production de lait	OPLait	1640230	2 403 042	1 828 544	399 059	221 939	2 403 042
Intrants monétaires	OIMtot	224590	335 936	332 564	345 009	347 704	347 704
Revenu net	Obenefic	746305	265 988	226 240	407 309	300 903	746 305

4.4. MODELISATION AU NIVEAU CERCLE: CAS DE KOUTIALA

4.4.1 INTRODUCTION: Raisons du choix de Koutiala et situation générale du cercle

L'amélioration des systèmes de production et la gestion rationnelle des ressources naturelles est une préoccupation de base des décideurs politiques, des chercheurs et des paysans. L'objectif du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) est de contribuer au développement des systèmes de production rentables et durables dans la zone soudano-sahélienne (300-900 mm). La zone soudano-sahélienne se caractérise entr'autres par des rendements très bas (cultures et pâturages) dus à la baisse de la fertilité des sols (Penning de Vries et Djitèye, 1982; van Keulen et Breman, 1990). A cela il faut ajouter la pauvreté et la surexploitation des sols, la croissance démographique et la grande variabilité de la pluviométrie (Vierich et Stoop, 1990).

Cette étude de cas spécifique a été centrée sur la zone de Koutiala qui est tout indiquée pour appréhender l'importance du modèle en tant qu'instrument de prise de décision et de gestion durable des ressources. En effet dans cette zone la pression sur les terres est très forte, car il y a d'une part l'agriculture qui se développe avec les superficies cotonnières qui s'accroît sous l'égide de la CMDT. Aussi les revenus tirés du coton ont permis aux paysans d'épargner dans le bétail en augmentant leur cheptel. Il y aussi la pression des éleveurs transhumants.

Le choix du cercle de Koutiala se justifie aussi par la disponibilité de données assez grandes collectées par l'ESPGRN et la CMDT qui ont une très grande connaissance du milieu.

Désenclavée par les axes routiers (Bla-Koutiala-Sikasso et Sikasso-Koutiala-San) favorisant le commerce, cette zone se caractérise par l'encadrement effectif, l'organisation du monde rural, la motorisation intermédiaire, les activités d'élevage, la production de coton et des céréales sèches MAIGA et al, 1994).

C'est, cependant, dans cette zone que la quasi totalité des éléments de dégradation des ressources sont présents.

La durée de jachères est raccourcie et les apports d'éléments nutritifs ne suffisent plus pour restaurer la fertilité des sols (van der Pol, 1992). Dans la zone en moyenne 25 et 20 Kg/ha d'azote et de potassium sont respectivement exportés annuellement de la réserve des éléments minéraux des sols (Bureau et al., 1994; van der Pol, 1992).

La zone est surpâturée. L'espace agro-pastoral est fragilisé. MAIGA et al, (1994) indiquent que dans la zone de Koutiala le rapport entre superficies disponibles et superficie cultivées est de 53% et que la pression sur les parcours devient de plus en plus forte. La DNE rapporte que les effectifs bovins sont passés de 1 190 000 têtes en 1970 à 2 017 000 en 1993. Par ailleurs il faut souligner la baisse de productivité animale due au manque de fourrage de bonne qualité en saison sèche.

La DNSI (1987) indique un taux d'accroissement démographique de 3.7 pour la zone de Koutiala.

Tout ce qui a été antérieurement dit indique bien que l'épuisement des terres s'amorce. Un épuisement soutenu des éléments nutritifs et de la matière organique du sol affectera considérablement la capacité productive des sols.

Les effets de la défertilisation, de l'érosion, de la croissance animale et humaine se conjuguent pour rendre les terres de moins en moins productives et accélérer la dégradation des sols compromettant dangereusement les rendements et par conséquent l'autoconsommation et la sécurité alimentaire.

Si la situation se prolonge, le capital-sol risque de ne plus pouvoir être reconstitué. Hors une disparition du capital-sol aboutira fatalement à une situation tragique à moyen et long terme compromettant l'avenir des générations présentes et futures.

Il est dès lors nécessaire de mener des efforts de recherche d'options techniques, de stratégies et politiques de développement appropriés pour résoudre ce problème.

L'objectif de cette étude est de mettre au point un outil de gestion, de prise de décision et de maîtrise des systèmes de production durables, et de contribuer à la formulation de stratégies et politiques de développement agricole durable qui tiennent en compte les conditions agro-écologiques et socio-économiques. Au Mali, ce genre d'outil est plus que jamais nécessaire à l'heure où l'accent est mis sur le développement à la base avec l'amorce imminente d'une politique de décentralisation généralisée.

Cette étude de cas dégagera les conditions socio-économiques et les mesures adéquates de politiques économiques permettant de concilier la croissance de la production agricole et la gestion optimale des ressources naturelles tout en garantissant les revenus des ruraux.

L'instrument utilisé est le modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples. L'approche méthodologique consiste à combiner les avantages des modèles de croissance des plantes et la programmation linéaire pour répondre aux préoccupations des décideurs et des paysans, en matière de prise de décisions concernant l'allocation des ressources disponibles à différentes activités pour atteindre les objectifs visés.

4.4.2 Ressources disponibles dans le Cercle de Koutiala

- . Superficie totale du cercle: 7 330 Km₂
- . Population totale (1987): 286 244 habitants.
- . quatre principaux types de sols

Tableau 4.4.2.1: Principaux types de sols dans le Cercle de Koutiala

		Superficie	
		(km ²)	%
Gravillonnaire	(GR)	870	14
Garvillonnaire superficiel	(GR_Su)	3 721	62
Limon-argileux	(Li_AR)	1 308	22
Limon-sableux fin	(LiSA_f)	127	2
TOTAL		6 027	100

C'est le type de sol GR_Su (gravillonnaire superficiel qui est le plus prédominant avec 62 % de la superficie totale disponible.

4.4.2 Conditions de prix: Ce sont les mêmes conditions signalées au chapitre 3.2.3.1 (P45-46)

4.4.3. Méthodologie de formulation de stratégie de développement durable au niveau du cercle de koutiala à l'aide de la modélisation

Tout décideur au niveau macro-économique aussi bien que micro-économique, doit savoir ce qu'il veut en matière de développement. Il doit donc fixer ces objectifs de développement et chercher les voies et moyens de les atteindre. Le modèle de programmation linéaire à buts multiples est un instrument qui l'aide à chercher les voies possibles à suivre pour atteindre ces objectifs. Mais cet instrument ne résout que le problème qu'on lui pose. Ainsi le choix des objectifs de développement est une étape très importante dans le processus de modélisation. Une stratégie est dite durable lorsque les objectifs visés sont atteints sans compromettre l'équilibre agro-écologique des ressources sur pour permettre une production continue.

Par définition une stratégie de développement est le choix d'une fonction objectif avec une ou plusieurs restrictions. La fonction objectif est l'objectif principal du décideur. Une restriction correspond à une contrainte que l'on doit satisfaire en plus de la fonction objectif principal.

$$\text{Stratégie} = \text{Fonction objectif} \pm \text{restriction(s)}$$

a. Choix des objectifs de développement

Six objectifs de développement ont été retenus pour le cercle de Koutiala:

1. Le revenu net
2. La production céréalière
4. La production cotonnière
3. La production de viande
5. La production de lait
6. Le nombre d'animaux

Le choix de ces objectifs se justifie par le souci des décideurs du cercle d'augmenter la production animale et la production agricole pour assurer les besoins alimentaires des populations du cercle et améliorer leurs revenus.

b. Choix de la "Fonction objectif"

- La fonction objectif choisie est "maximiser le revenu"

c. Choix des restrictions (ou contraintes)

Les restrictions ou contraintes considérées dans la formulation de la stratégie de développement sont:

- 1°/ Satisfaction des besoins de consommation alimentaire

Les normes de consommation exigées à satisfaire sont les suivants par type de produit:

Tableau 4.4.3.1:

Aliments	Norme (Kg/pers/an)
Mil	102.86 *
Sorgho	62.27 *
Mais	76.71 *
Lait	0.40 *
Viande	35.00 **
Arachide	10.00 **
Niébé	12.00 **

Sources:

* Enquête budget consommation (DNSI/PADEM/DSA, Mars 1991) Page 69

** Source schéma directeur.

- 2°/ En plus de ces normes de consommation, nous avons considéré l'hypothèse selon laquelle 70 % de la production animale est assurée par les bovins et 30 % par les petits ruminants (15 % par les ovins et 15 % par les caprins). Cette hypothèse est basée sur l'importance numérique respective de ces espèces dans le cercle.
- 3°/ La production cotonnière minimale exigée est de 62 137 tonnes pour le cercle de Koutiala conformément au contrat-plan État-CMDT-Producteurs.

4.4.4 Résultats du modèle

a. Stratégie d'allocation des ressources en terres

Pour pouvoir atteindre les objectifs visés par le décideur au niveau du cercle, le modèle a choisi l'allocation optimale des ressources et un système de production durable intégrant les activités de cultures et d'élevage. Un tel système de production est dit durable car l'équilibre du bilan des éléments nutritifs est assuré à travers l'intégration des activités et l'achat d'engrais.

Tableau 4.4.4.1: *Allocation des ressources en terres par substrat et par activité selon les résultats du modèle PLBM*

		Superficie		Cultures		Pâturages		Sylviculture	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Gravillonnaire	(GR)	870	100	0	0	870	100	0	0
Garvillonnaire superficiel	(GR_Su)	3 721	100	0	0	3 721	100	0	0
Limon-argileux	(Li_AR)	1 308	100	1 138	87	170	13	0	0
Limon-sableux fin	(LiSA_f)	127	100	50	39	0	0	78	61
TOTAL		6 027	100	1 188	20	4 766	79	78	1

Dans ce système comme en témoigne l'allocation des ressources, il y a une très grande prépondérance de l'élevage avec 79% de la superficie totale disponible affectée aux pâturages et une agriculture intensive qui utilise beaucoup d'intrants mais très peu de terres avec une occupation par les cultures de 20% de la superficie totale. Quand à la sylviculture pour compléter les besoins de consommation en bois, elle n'occupe que 1% de la superficie utile disponible.

L'allocation des terres par type de sol montre que la prédominance des pâturages est du au fait que le type de sol gravillonnaire superficiel (Gr-su) qui est le plus important (62%) n'est apte que pour les pâturages et est affecté à 100% aux pâturages par le modèle.

Tableau 4.4.4.2: Utilisation des terres dans le cercle de Koutiala

Utilisation des terres	Situation actuelle		Solution du Modèle PLBM	
	Cercle de Koutiala ***		Cercle de Koutiala	
	%			
Superficie totale du cercle	7 330 km ²			
Superficie non utile (routes, villages, villes, cours d'eau etc...)	1 303 km ²			
Superficie utile	6 027 km ²	100	6 027 km ²	100
Superficie cultivée	1 989 km ²	33	1 183 km ²	20
Superficie pâturages naturels	4 038 km ²	67	4 766 km ²	79
Sylviculture	-	-	79 km ²	1
Nombre d'UBT total (Bovins/petits ruminants)	278 485		222 260	
Superficie parcours naturels disponible/UBT	1,44 ha		2,14 ha	

*** N.B.: Estimations réalisées sur la base des indications données dans l'étude de Alpha S. Maïga & al (IER/ODI, sept.1994) et des informations de l'annuaire statistique de la région de Sikasso (DNSI, Mars 1994)

Discussions

La situation actuelle dans le cercle montre une très forte pression sur les terres avec 33 % de la superficie utile mises en culture. La disponibilité en pâturages/UBT est aussi très faible.

Pour arriver à un système de production durable. Le modèle propose:

- Une diminution du cheptel de 278 485 à 222 260 UBT soit 20 %. Donc un déstockage du bétail.
- une diminution des superficies cultivées de 13 % par la mise en jachère, car en intensifiant l'agriculture, 20 % de la superficie totale suffit pour satisfaire les objectifs de production agricole visés.

Tout ceci pour permettre d'augmenter la disponibilité des pâturages naturels de 12 %.

b. Production agricole

Selon les résultats du modèle pour satisfaire les besoins de consommation humaine et animale au niveau du cercle, les productions de graines et de résidus par culture sont présentées au tableau ci-dessous:

Tableau 4.4.4.3: *Importance des cultures dans le système de production généré par le modèle*

Codes	Cultures	Superficies		Production grainière (tonnes)	Résidus/Fanes		Niveau* actuel de production grainière
		ha	%		Tonnes	%	
1.	Mil	6 800	6	29 443	49 186	10	33 240
2.	Sorgho	3 500	3	17 824	23 812	5	53 543
3.	Maïs	9 700	8	70 454	64 270	14	21 795
4.	Niébé	2 200	2	3 435	3 502	1	5 293
5.	Arachide	59 500	50	82 186	117 515	25	6 142
6.	Andropogon G.	6 100	5	0	94 266	20	-
10.	Coton	30 400	26	62 137	117 092	25	68 491
Total		118 300	100		469 642	100	

* (Source: DNSI/DNA, 1992/93)

* Campagne 1992/1993

Le système de culture choisi par le modèle comprend six principales cultures. Il y a l'arachide qui occupe 50 % de la superficie totale mise en cultures, suivi par le coton 25 %, et les céréales (mil/sorgho/maïs) 17 %. Le niébé et l'Andropogon gayanus ne représentent respectivement que 2 % et 5 % de la superficie totale cultivée. En comparaison à la situation actuelle, le modèle propose une diminution des productions de mil, sorgho au profit du maïs. La prédominance de l'arachide s'explique par le fait qu'il contribue dans l'autoconsommation et fournit une très grande production de fanes pour l'élevage. Le niveau de prix considérée (255 Fcfa/kg) favorise aussi ce produit par rapport aux autres. L'importance d'une culture par rapport à une autre s'explique aussi par le coût d'opportunité de production. Ainsi certaines cultures ont été imposées comme restrictions au modèle qui les a choisi malgré un coût d'opportunité de production défavorable.

Tableau 4.4.4.4: *Coût d'opportunité de production par culture*

Cultures	Coût d'opportunité (Fcfa/kg produit)
Niébé	- 12,11
Sorgho	- 8,73
Coton	- 4,31
Mil	- 0,16

Les valeurs du coût d'opportunité (tableau 4.4.4.4) indiquent les pertes (en Fcfa) subies pour la production d'une tonne supplémentaire de chacune des cultures indiquées. Par exemple en produisant 1 kg supplémentaire de niébé ceci fait perdre 12 Fcfa. Malgré ce manque de rentabilité, le modèle a néanmoins choisi ces cultures pour satisfaire la contrainte de consommation (mil, sorgho, niébé) et le niveau exigé en production cotonnière. Les productions de ces cultures ont été ainsi minimisées aux niveaux exigés.

Toutes les activités de cultures retenues sont intensives et utilisent la technique de lutte anti-érosive. Ces activités sont durables car les niveaux d'intrants apportés permettent d'atteindre la production escomptée et de maintenir l'équilibre du bilan nutritif à l'aide du processus de recyclage des résidus et la lutte anti-érosive. Tous ces processus qui sont à la base de la production sont décrits au niveau ferme.

c. Production animale

Nombre d'UBT : Le nombre d'UBT par espèce générée par le modèle pour les besoins de production animale est présenté au tableau ci-dessous.

Tableau 4.4.4.5: *Répartition du nombre d'UBT par type d'élevage.*

Type d'élevage	UBT	%
Embouche (boeuf)	10 510	5
Boeufs de labour	52 865	24
Bovins (Autres)	147 739	66
Caprins	6 258	3
Ovins	4 888	5
TOTAL	222 660	100

Il y a un nombre total de 222 260 UBT choisi par le modèle pour l'ensemble du cercle (pour 47 660 ha de pâturages soit une disponibilité de 2,14 ha/UBT).

Les bovins représentent 95 % du nombre total d'UBT et les petits ruminants 5%. Il y a un nombre total de 52 865 boeufs de labour soit 24 % du nombre d'UBT total. Le troupeau bovin (pour la production de lait et viande) 66 % du nombre total d'UBT.

Production de lait et de viande: Pour satisfaire les besoins de consommation et contribuer à la maximisation du revenu, le modèle a fixé les niveaux de production animale présentés au tableau ci-dessous.

Tableau 4.4.4.6: *Production de lait et de viande par espèce et type d'élevage.*

Type d'élevage	Production de lait		Production de viande	
	Tonnes (poids vif)	%	Tonnes (poids vif)	%
Embouche (boeuf)	-	-	2 677	13
Boeufs de labour	-	-	3 242	17
Bovins (Autres)	38 815	91	12 446	63
Caprins	1 717	4	810	4
Ovins	1 920	5	784	3
TOTAL	42 453	100	19 959	100

La production laitière totale est de 42 453 litres dont 91 % sont fournis par les bovins et 4 et 5 % fournis par les caprins et ovins respectivement.

La production de viande (Poids vif) provient aussi essentiellement des bovins (à 93%). L'embouche et la réforme de boeufs de labour contribuent pour 13 et 17 % respectivement.

La faible part des petits ruminants dans la production de lait et viande s'explique par leur niveau de coût d'opportunité à la production présentée au tableau 4.4.4.7 ci-dessous.

Tableau 4.4.4.7: *Valeur des coûts d'opportunité*

Productions animales	Coût d'opportunité (F CFA/tonne produite)
Viande ovine	- 266 551
Lait caprin	- 176 616

Dans le contexte de la limitation des ressources en terres et en main-d'oeuvre, le coût d'opportunité pour la production de viande ovine est de -266 551 F CFA, c'est-à-dire que la production d'une tonne de viande ovine supplémentaire entraîne une perte de 266 551 F CFA (soit 266 F CFA/kg). Quant au coût d'opportunité de production du lait caprin: la production de chaque litre supplémentaire entraîne une perte de 177 F CFA. Pour permettre au modèle de prendre en compte les petits ruminants, nous avons considéré l'hypothèse selon laquelle 70 % du total des UBT proviennent des bovins et 30 % des petits ruminants. C'est à cause de cette exigence que le modèle inclut la production des ovins et caprins dans le

nombre total d'UBT et dans la production de lait et de viande malgré des coûts d'opportunité défavorables.

d. Le revenu global (valeur de la production)

Le revenu global (ou valeur totale des extrants produits) estimé par le modèle pour l'ensemble de la région s'élève à 42,5 millions de Fcfa. La contribution des différentes productions est estimée comme suit:

Tableau 4.4.4.8: *Valeur de la fonction objectif (Revenu global)*

	Revenu global (Milliers Fcfa)	
	Valeur (en millier)	%
Elevage		
- Viande	6 487	15
- Lait	6 368	15
Cultures	29 210	69
Sylviculture	479	1
TOTAL	42 545	100

La contribution de l'élevage dans la formation de ce revenu est de 30 %, celle des cultures 68 %, la sylviculture 2 %.

e. Coûts total de production

Il correspond à la somme de tous les intrants monétaires investis pour la production des différents extrants d'agriculture, d'élevage et de sylviculture.

Tableau 4.4.4.9:

Poste	Montant (1 000 Fcfa)	%
Achat d'azote (N)	1 982	8
Achat de phosphore (P)	874	5
Besoins monétaires cultures	4 099	17
Sylviculture	358	1
Transport fourrage	343	1
Main-d'oeuvre extérieure	1 211	5
Main-d'oeuvre familiale	14 008	57
Bovins	1 080	4
Ovins/caprins	190	1
Suppléments	320	1
TOTAL	24 466	

La valeur du coût d'utilisation de la main-d'oeuvre familiale est le poste le plus important (57 %), car elle est mobilisée pour la réalisation des différents objectifs de production. La main-d'oeuvre extérieure ne représente que 5 % des besoins monétaires totaux. L'élevage et la sylviculture ont aussi une faible part dans le coût total de production.

f. Revenu net

Il correspond à la différence entre le revenu global (valeur totale des extrants produits) et les coûts de production des extrants, c'est à dire la valeur de l'ensemble des intrants investis dans la production agricole et animale.

Tableau 4.4.4.10:

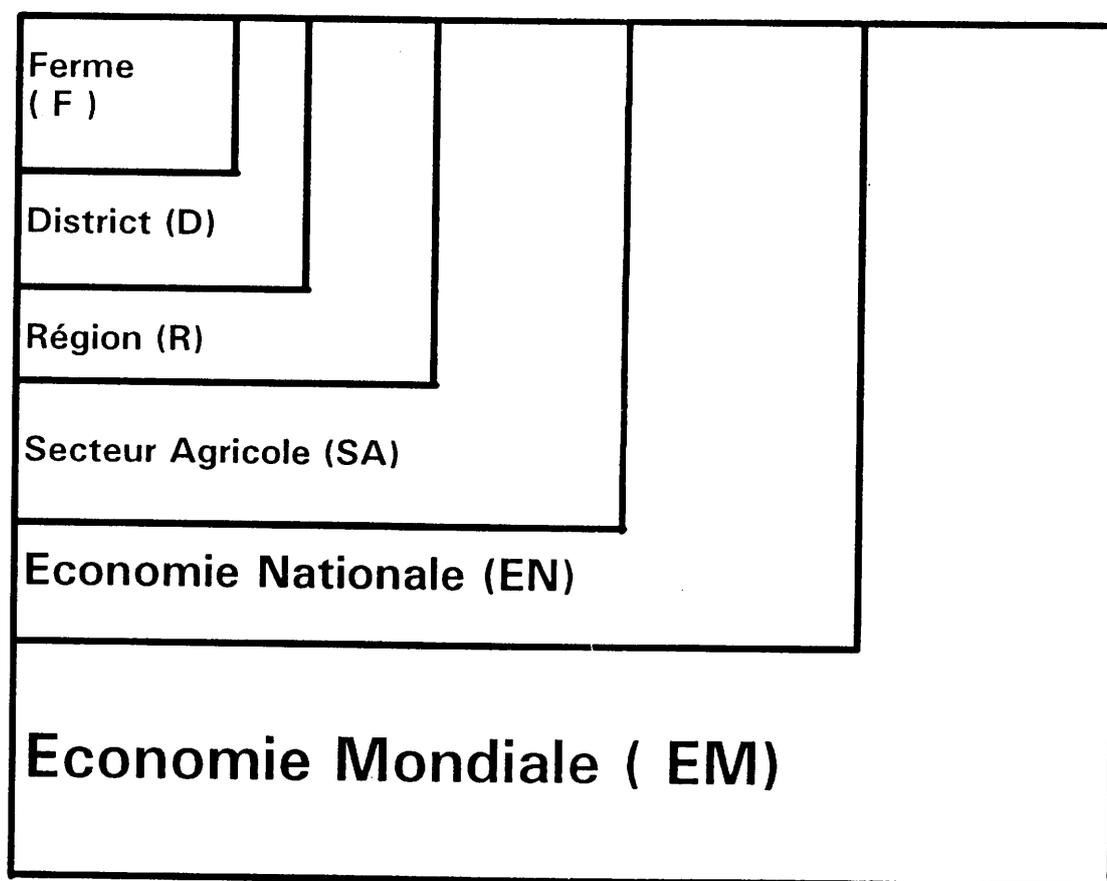
	Montant (Milliers Fcfa)
Revenu global	42 545
Coût total de production	24 466
Revenu net	18 079

Interrelations entre niveau ferme et niveau cercle: Relations micro-macro

Le modèle donne au décideur un tel résultat concernant les objectifs de production et de revenus avec les ressources disponibles de l'ensemble du cercle. cependant ces résultats servent d'orientation quand à la pertinence dans le choix des objectifs de développement. En effet il faudrait nécessairement établir un parallèle entre les résultats du modèle au niveau cercle et les résultats des analyses aux niveaux des différents types de ferme agrégés où se réalisent effectivement les activités de production.

En un mot le décideur au niveau régional fixe ses objectifs de développement, auxquels le modèle affecte des valeurs selon les ressources disponibles. mais le décideur n'étant pas le producteur, il doit réaliser ces objectifs par une politique macro-économique d'incitation des fermes (A, B, C, D) chez lesquels les processus de production sont réalisés. C'est ainsi que dans le prochain chapitre des analyses sont faites avec le modèle pour chaque type de ferme (A, B, C et D) avec ses ressources propres, et une comparaison est ensuite faite entre les résultats du modèle des fermes agrégées et les résultats au niveau du cercle en entier pour voir le niveau d'agrégation du niveau ferme au niveau cercle. D'une manière générale les niveaux d micro-économique et macro-économique ont été décrits par Thorbecke et al (FAO, Rome, 1982) en partant du niveau ferme jusqu'à l'économie mondiale. Comme quoi, les fermes agrégées forment le district, les districts agrégés forment la région, les différentes régions agrégées composent le secteur agricole. Les secteurs agrégés forment l'économie nationale qui est elle même une composante de l'économie mondiale.

Figure 4.4.4.1: *Niveaux d'agrégation micro-économique et macro-économique*



Source : Thorbecke, op.cit

Donc l'objectif de l'agrégation est de voir si les résultats de la modélisation au niveau région correspondent à la somme des résultats de l'ensemble des fermes réunies.

4.5 MODELISATION AU NIVEAU FERME ET COMPARAISON FERMES ET CERCLE DE Koutiala

4.5.1 Caractéristiques des principaux types de ferme dans le cercle de Koutiala

Le modèle décrit une situation dans laquelle le paysan est propriétaire de ses moyens de production. Il dispose d'une quantité donnée de ressources en terre et une main-d'oeuvre familiale. Sa production se base fondamentalement sur son travail personnel et celui des membres de sa famille.

Le modèle est tourné pour 4 types de fermes (typologie ESPGRN.SKO/CMDT) dont les caractéristiques sont décrites par Siridi SAMACKE et al (1994) comme suit.

Type A: UP bien équipée pour la culture attelée ayant au moins une charrette et possédant un troupeau de plus de 10 bovins, y compris deux paires de boeufs d'attelage.

Type B: UP disposant d'au moins une paire de boeufs de labour et d'une unité de culture attelée, mais ayant un troupeau de bovins de moins de 10 têtes, y compris les boeufs de labour.

Type C: UP non équipée pour la culture attelée, mais sachant conduire un attelage. Disposant souvent d'un équipement incomplet.

Type D: UP en culture manuelle, ne connaissant pas ou très peu la culture attelée.

François GIRAUDY et al (1994) donne la superficie, la population et le nombre d'actifs par actifs. Les données sont consignées dans le tableau suivant.

Tableau 4.5.1: *Superficie, population et nombre d'actifs par UP*

	UP A	UP B	UP C	UP D
Population	25,1	11,9	8,5	5,5
Nombre d'actifs	11,8	5,7	3,9	2,5
Superficie	17.8	10.1	3.8	3.3

Source: Annuaire statistique de la CMDT, François GIRAUDY et al , Juin 1994.

4.5.2. Conditions de prix: Ce sont les mêmes condition signalées au chapitre 3.2.3.1 (P45-46)

4.5.3. Formulation d'une stratégie de gestion durable de la ferme:

a. Choix des objectifs de production et de fonction objectif à optimiser

Convaincu qu'aucun système analytique ne pourrait véritablement prendre en compte tous les objectifs de chaque paysan; dans notre approche analytique on part du constat que, quelque soit l'exploitant son souci premier, sa préoccupation de base et son objectif immédiat est d'obtenir un revenu maximum pour faire vivre sa famille. Dans cette étude la fonction objectif est la maximisation du revenu net à travers la combinaison optimale des activités de culture, d'élevage et de sylviculture dans les conditions d'objectifs de production bien définis (auto-consommation etc) et des ressources disponibles limitées (Main-d'oeuvre et terre).

b. Contraintes

- *Contraintes en terre*: La nature des terres, leurs disponibilités et leurs aptitudes aux cultures sont des données du modèle. Les combinaisons de culture (activités) qui sont possibles sur chaque type de sol sont connues. On exige que les besoins d'un type de sol pour une activité ne doivent pas dépasser la disponibilité de ce type de sol.

- *Contraintes en main-d'oeuvre*: Dans les exploitations agricole la main-d'oeuvre extérieure n'est pas engagée sur une base annuelle. Son emploi revêt un caractère très saisonnier. Dans le modèle on assume qu'on est en période de point lorsque les besoins en main-d'oeuvre sont supérieurs à la disponibilité. Cette différence correspond aux besoins en main-d'oeuvre extérieure. La rémunération de la main-d'oeuvre engagée à cette période est fixée à 600 Fcfa. La main-d'oeuvre familiale sera également rémunérée à ce prix.

- *Autoconsommation*: On entend par autoconsommation les biens et les services produits dans une exploitation et consommés par la famille de l'exploitant agricole.

Certes, rien n'oblige l'exploitant à autoconsommer une part assez importante de sa production, dès l'instant que le prix sur le marché lui permet de faire le choix entre produire ou acheter un bien. Dans certaines conditions, il peut avoir la possibilité de vendre sa production et acheter sur le marché des produits à un prix relativement bas. Cependant rien ne garantit l'exploitant de pouvoir payer les mêmes produits plus tard et à bas prix. Dans l'incertitude on exige l'autoconsommation en terme de production.

En tenant compte des habitudes alimentaires, on peut raisonnablement estimer la quantité de chaque culture vivrière qu'il faut produire annuellement dans la ferme. Les normes de consommation utilisées sont consignées dans le tableau suivant.

Tableau 4.5.2: Normes de consommation

Aliments	Norme (Kg/pers/an)
Mil	102.86 *
Sorgho	62.27 *
Mais	76.71 *
Arachide	10.00 **
Niébé	12.00 **
Lait	0.40 *
Viande	35.00 **

Sources: * Enquête budget consommation (DNSI/PADEM/DSA, Mars 1991) Page 69

** Source schéma directeur. (CPS, non daté)

- *Contraintes de crédit et de liquidités*: La disponibilité monétaire joue un rôle assez important en matière de production. Dans la ferme la quasi totalité du travail agricole se fait par la main-d'oeuvre familiale, on n'a pas besoins de finances pour assurer les activités, sauf pour l'achat d'engrais, de suppléments et la rémunération de la main-d'oeuvre engagée. Ces coûts peuvent être financés sur les bénéfices ou sur les crédits. On admet un crédit saisonnier à court terme à titre de fonds de roulement, pour financer les intrants extérieurs et pour payer la main-d'oeuvre engagée. Au niveau ferme nous partons de l'hypothèse que le paysan admet de sacrifier 25% de son revenu (liquidité) pour les besoins de finances. On exige que les besoins en crédit (intrants extérieurs et main-d'oeuvre engagée) ne doivent pas dépasser la liquidité.

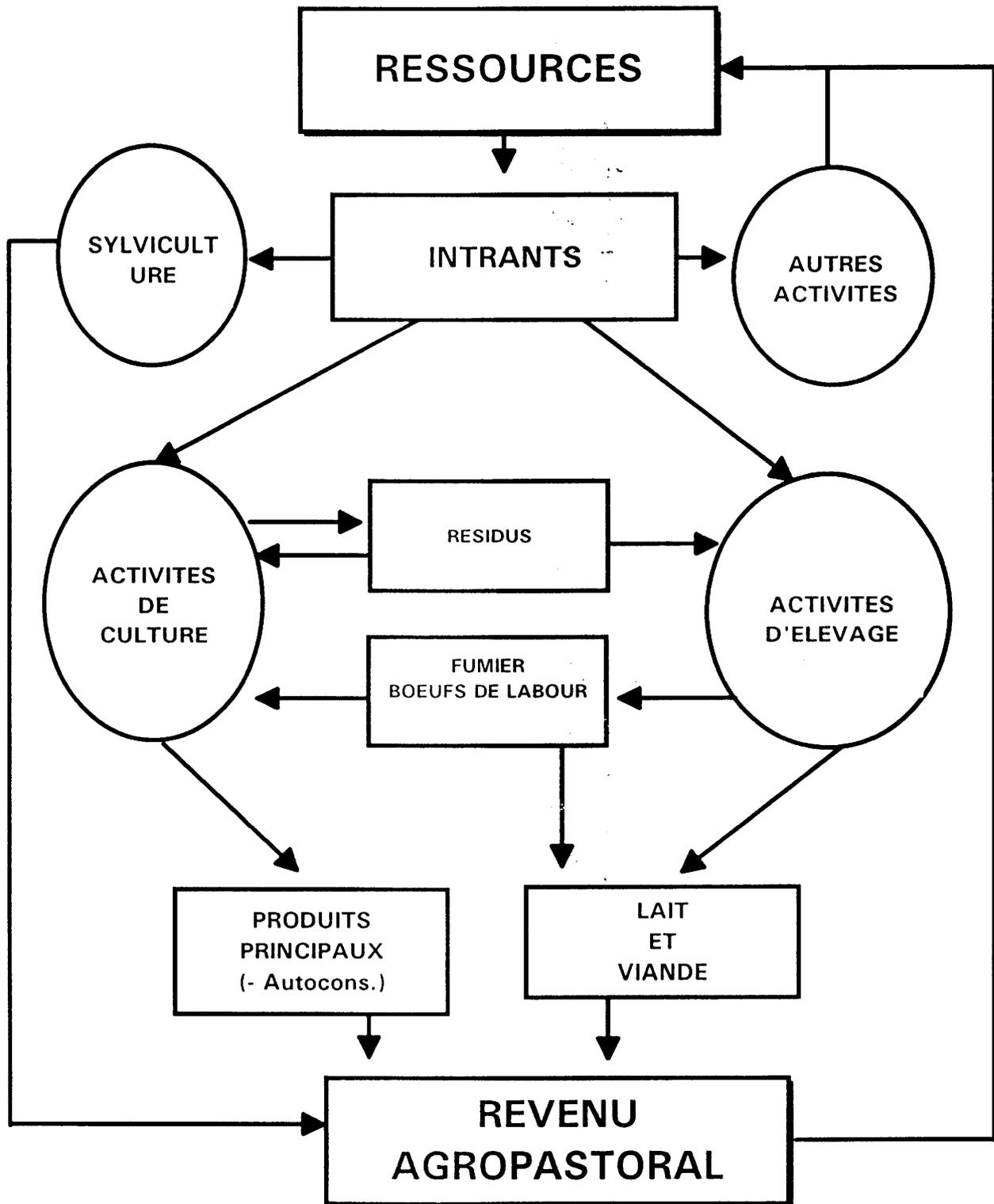
c. Aspects économiques

Le modèle traite les aspects de revenu et de coût de production. La valeur de la production pour chaque activité est calculée en multipliant la production par son prix unitaire. Le coût correspond au coût du matériel, de la main-d'oeuvre, des engrais. Les céréales sont valorisées après déduction de l'autoconsommation. La totalité de la production de viande et de lait est valorisée.

Le schéma suivant explique cette approche.

Le diagramme explique les interrelations entre les activités.

Schéma simplifié des aspects économiques dans le modèle ferme.



4.5.4 Résultats du modèle pour la ferme de type A et comparaison fermes et cercle de Koutiala

4.5.4.1. Résultats au niveau ferme de type A.

Pour maximiser ses revenus l'exploitant doit adopter une série de stratégies.

a. Stratégie d'utilisation des terres par activité

L'utilisation des terres par type d'activité est consignée dans le tableau suivant :

Tableau 4.5.4.1: *Utilisation des terres en hectare*

Sol	Superficie	Culture	Pâturage	Sylviculture
Gravillonnaire	6,70	0,00	6,70	0,00
Gravillonnaire superficiel	20,20	0,00	20,20	0,00
Limon-argileux	10,10	9,80	0,30	0,00
Limon-sableux fin	1,00	0,30	0,00	0,70
TOTAL	38,00	10,10	27,20	0,70
%	100	27,00	72,00	2,00

Il ressort de l'analyse des données du tableau ci-dessus que l'exploitant doit allouer 72% des sols aux pâturages, 27 % aux cultures et seulement 2 % à la sylviculture. La totalité du sol gravillonnaire - qui est une terre de culture - sera allouée aux pâturages et trois pour-cent (3 %) du sol limon-argileux seront également utilisés comme pâturage.

b. Stratégie d'allocation des terres aux cultures: Superficie, production et revenu.

Les superficies destinées aux cultures seront affectées à chaque culture comme le montre le tableau suivant. Dans le même tableau la production et le revenu par culture sont donnés.

Tableau 4.5.4.2: *Superficie, production et revenu par culture*

Cultures	Superficie (ha)	Production (Tonnes)	Revenu Millions FCFA	Superficie (%)	Revenu (%)
Mil	0,6	2,582	0,121	5,88	4,60
Sorgho	0,3	1,563	0,056	2,94	2,13
Maïs	0,8	5,606	0,196	7,84	7,44
Niébé	0,2	0,301	0,045	1,96	1,71
Arachide	5,3	7,317	1,463	51,96	55,52
Coton	3,0	6,028	0,754	29,41	28,59
TOTAL	10,2		2,636	100,00	100,00

L'analyse des données du tableau ci-dessus indique que les cultures permettent d'obtenir des revenus de 2 636 000 FCFA. La culture de l'arachide occupe plus de la moitié des terres sous culture (51,96 %) il est suivi par le coton (29,41 % des terres cultivées). Les céréales représentent 16,66 % et le niébé 1,96 %. Les revenus les plus élevés sont obtenus avec la production d'arachide et de coton. Ces deux spéculations représentent respectivement 55,52 et 28,59 % du revenu total. Elles sont suivies par le maïs, le mil, sorgho et le niébé.

c. Stratégie d'élevage et composition du troupeau: Nombre d'UBT, production et revenu.

Le troupeau sera composé d'animaux d'embouche, de bovins, ovins et caprins et des boeufs de labour. Il permettra de produire la quantité de viande et lait nécessaire pour satisfaire les besoins d'autoconsommation de l'exploitant et de sa famille. Les chiffres sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 4.5.4.3: *Nombre d'UBT, production et revenu par type d'élevage*

Lait et viande	UBT	Production (Tonnes)	Revenu Millions FCFA	UBT (%)	Revenu (%)
Lait					
Bovins	6,5	1,7146	0,2571	87,83	84,30
Caprins	0,5	0,1506	0,0226	6,76	7,41
Ovins	0,4	0,1684	0,0253	5,41	8,29
Sous total	7,4	2,0336	0,3050	100,00	100,00
Viande					
Embouche	0,8	0,1615	0,0525	6,20	14,15
Bovins	6,5	0,5497	0,1787	50,39	48,18
Caprins	0,5	0,0710	0,0231	3,88	6,23
Ovins	0,4	0,0687	0,0223	3,10	6,02
Boeufs de labour	4,7	0,2903	0,0943	36,43	25,42
Sous total	12,9	1,1413	0,3709	100,00	100,00
TOTAL			0,6759	0,0879	0,5880

Comme l'atteste le tableau suivant la production de la lait s'élève à 2 tonnes pour une production de viande de 1,1 tonnes.

La production de lait de bovin représente 84,30% des revenus du lait. La viande bovine apporte 48 % des revenus de la viande.

La viande provenant de la réforme des boeufs de labour représente 25,18 des revenus de la viande, l'embouche apporte 14,13 % des revenus et le reste est apporté par les ovins/caprins. Le revenu des activités d'élevage s'élève à un montant de 675 900 FCFA dont 370 000 pour la production de viande et 305 000 pour la production de lait.

d. Stratégie de production et d'utilisation des résidus de récolte.

(recyclage des éléments nutritifs).

Les résidus de récolte jouent un rôle assez important dans l'alimentation du bétail et dans la production d'éléments nutritifs. Les chiffres du tableau suivant expriment la production et les formes d'utilisation des résidus par culture et par activité.

Tableau 4.5.4.4: *Production de résidus de récolte par culture et par activité (Tonnes)*

Cultures	Production	Brûlage	Fourrage au champ	Fourrage à la ferme
Mil	4,313	0,00	4,313	0,000
Sorgho	2,088	0,000	2,088	0,000
Maïs	5,114	0,000	5,114	0,000
Niébé	0,307	0,000	0,000	0,307
Arachide	10,462	0,000	8,474	1,988
Coton	9,208	9,208	0,000	0,000
TOTAL	31,492	9	20	2

Les activités de culture choisies permettent de générer 31,5 tonnes de résidus dont 20 tonnes seront laissées au champ comme fourrage, 9 tonnes seront brûlées et 2 tonnes seront transportées à la ferme comme fourrage. Sur les 20 tonnes de résidus laissés au champ comme fourrage il y a 4,3; 2,1; 5,1 et 8,5 tonnes qui sont respectivement des résidus de mil, sorgho, maïs et arachide. La totalité des résidus de coton (9,21 tonnes) seront brûlées.

La disponibilité d'éléments nutritifs au champ et à la ferme par activité est donnée dans le tableau suivant. Au niveau du champ le brûlage des résidus de coton apportera 0,02 tonnes de phosphate et 0,17 tonnes de potasse. Les activités de broutage produiront 0,27, 0,03, 0,01 et 0,09 tonnes de most (fumier), azote, phosphate et potasse respectivement.

Tableau 4.5.4.5: *Disponibilité des éléments nutritifs au niveau du champ (Tonnes)*

Disponibilité des éléments nutritifs au niveau du champ (Tonnes)							
Fertilisant	Transport	Broutage	Brûlage	Engrais	Disponible	Besoins	Ecart (%)
Fumier (MOST)	0,72	0,27	0,00	0,000	0,99	1,84	54
Azote	0,14	0,03	0,00	0,498	0,66	1,33	50
Phosphate	0,05	0,01	0,02	0,500	0,57	0,19	305
Potasse	0,16	0,09	0,17	0,502	0,91	0,83	110

Les données du tableau ci-dessus indiquent que les sources de la disponibilité d'éléments nutritifs au niveau du champ sont le transport de fumier de la ferme vers le champ, le broutage, le Brûlage et l'achat d'engrais. La totalité du fourrage transporté à la ferme sera utilisée comme fourrage. Quant à la disponibilité d'éléments nutritifs au niveau de la ferme, comme indiquée dans le tableau ci-dessous, elle provient des pâturages, des cultures, du fourrage au champ et du fourrage à la ferme. A la ferme seront transportées 2,31 tonnes dont 2 tonnes d'arachide et 0,31 tonnes de niébé. Au niveau de la ferme on produira 0,72; 0,14; 0,05 et 0,5 tonnes de most (fumier), azote, phosphate et potasse respectivement.

Tableau 4.5.4.6: *Disponibilité des éléments nutritifs au niveau ferme (Tonnes)*

Disponibilité des éléments nutritifs au niveau ferme (Tonnes)						
Fertilisant	Pâturage	Culture	Fourrage au champ	Fourrage à la ferme	Disponible	Transport
Fumier (MOST)	0,46	0,22	0,47	0,10	1,25	0,72
Azote	0,06	0,02	0,05	0,02	0,16	0,14
Phosphate	0,03	0,00	0,01	0,00	0,05	0,05
Potasse	0,03	0,05	0,15	0,03	0,26	0,15

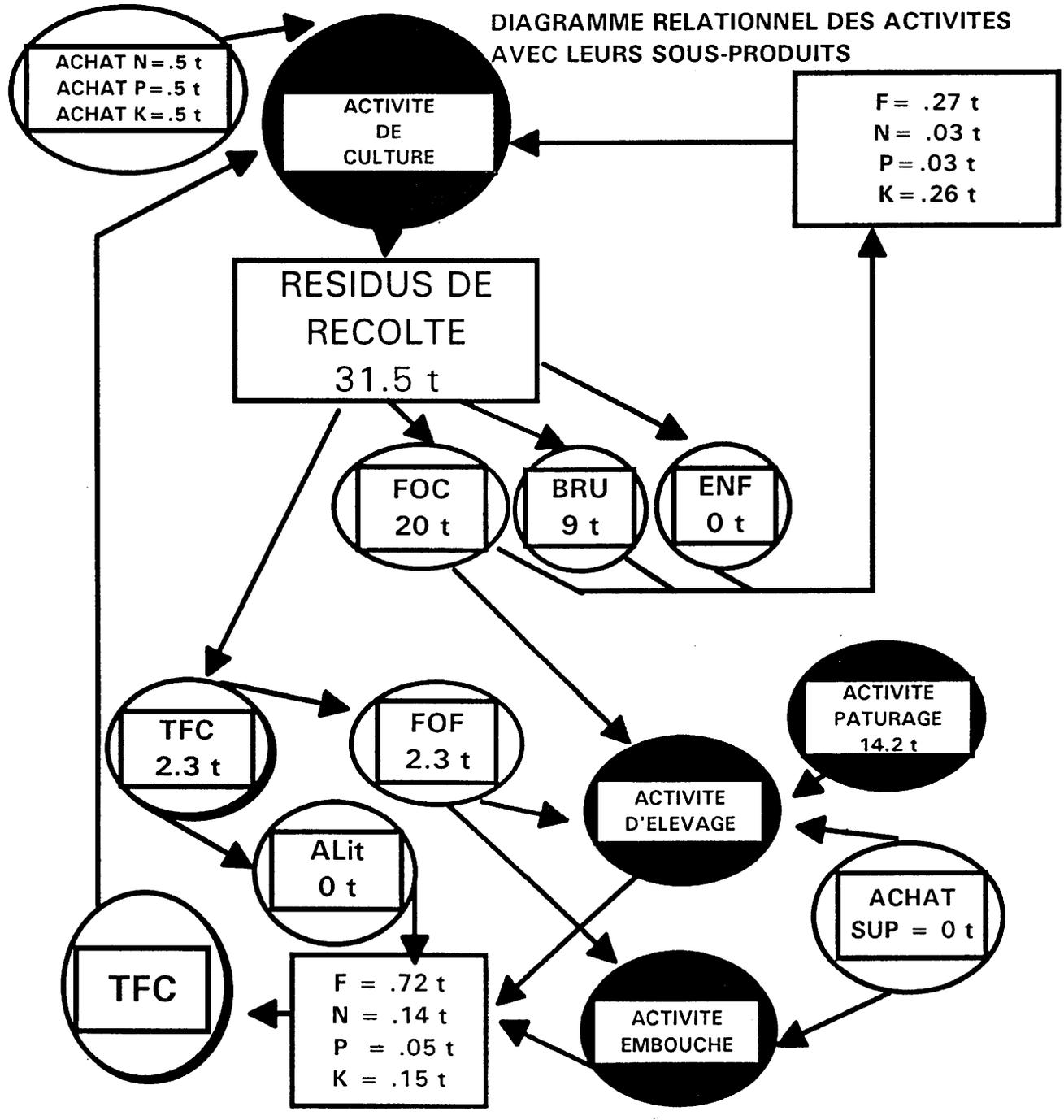
Les pâturages constituent une source importante de fourrage. Les apportent respectivement 37, 36, 58 et 11 % du fumier, azote, phosphate et potasse disponible. Elles fourniront 14,2 tonnes de fourrage dont 4,53 tonnes proviennent des ligneux et 9,67 des herbacées. Les chiffres du tableau suivant donnent de façon détaillée la disponibilité de fourrage.

Tableau 4.5.4.7: *Disponibilité totale de fourrage pour les animaux.*

Saison	Cultures		Pâturages		Total	Besoins
	Fourrage au champ	Fourrage à la ferme	Herbacées	Ligneux		
Pluies			9.67	4.53	14.2	14.2
Sèche	20.014	1.486			21.5	17.4
Total	21.5		14.20		35.7	31.6

On procédera à des achats d'engrais de 0,498; 0,500 et 0,502 tonnes d'azote, phosphate et potasse respectivement.

Toute cette situation est résumée par le diagramme suivant:



e. Besoins des animaux en matières organique digestible.

Les besoins en matière organique digestible (MOD) par espèce animales sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 4.5.4.8: *Bilan en Matière Organique Digestible (Tonnes)*

Espèces	Tonnes
Bovin	7,20
Caprin	1,07
Ovin	0,80
Boeuf de labour	5,63
Besoins	15,60
Disponible	15,60
Ecart	0,00

Ces besoins seront couverts par les disponibilités de fourrage indiquées dans le tableau antérieur.

f. Disponibilité et besoins en main-d'oeuvre.

Les besoins en main-d'oeuvre par période pour les différentes activités sont consignés dans le tableau n° en annexe n°... Les résultats dudit tableau indiquent bien que les cultures mobilisent essentiellement la main-d'oeuvre. On observe qu'au moment où il est accablé par le travail l'exploitant fait recours à la main-d'oeuvre extérieure aux 2^e et 3^e décades des mois de Juin et d'Octobre correspondant aux périodes 8 et 9 pour le premier et à la 20^eme pour la deuxième. Les résidus de récolte seront transportés à la ferme pendant les périodes 20 et 21 du mois d'octobre. Quant au fumier il sera transporté au champ pendant les périodes 3, 4 et 5. Les résidus de coton seront brûlés aux mois de mai et juin (période 5, 6 et 7).

g. Compte d'exploitation général de l'exploitation.

Les revenus: Le revenu total de l'exploitant s'élève à un montant 3 342854 Fcfa par an. La répartition de ce revenu par activité est donnée dans le tableau qui suit.

Tableau 4.5.4.9: *Revenu total de l'exploitation (Millions de FCFA)*

Activités	Revenu	%
Cultures	2,636	78,87
Elevage	0,675	20,20
Sylviculture	0,031	0,93
Total	3,342	100,00

Le tableau ci-dessus indique que les activités de cultures génèrent 78,87 % des revenus de l'exploitation, les activités d'élevage représentent 20,20 % et les activités de sylviculture 0,93 %.

Les coûts: Le coût de production total se chiffre à 2 051 000 Fcfa dont les détails sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 4.5.4.10: *Structure du coût de production*

	Coût (Millions FCFA)	%
Cultures		
Achat N	0,1790	9
Achat P	0,0900	4
Besoins monétaires cultures	0,3690	18
Sylviculture	0,0310	2
Elevage		
Bovins	0,0230	1
Embouche	0,0070	0,3
Caprins	0,0020	0,09
Ovins	0,0150	1
Boeufs de labour	0,0410	2
Transport ferme/champ	0,0160	1
Transport champ/ferme	0,0030	0,1
Main-d'oeuvre extérieure	0,1060	5
Main-d'oeuvre familiale	1,1688	57
TOTAL	2,0508	100

L'analyse des données de ce tableau indique que la main-d'oeuvre représente 62 % du coût total dont 57 % pour la main-d'oeuvre familiale et 5 % pour la main-d'oeuvre recrutée. Le coût des cultures représente 18 % et l'achat d'engrais 13 %.

h. Le revenu net ou bénéfice

Le bénéfice obtenu est de 1 046 865 Fcfa. La valeur ajoutée par hectare cultivé est 58 160 Fcfa pour une valeur ajoutée par homme de 610 Fcfa.

Répartition du revenu net

Le revenu net sera reparti comme l'indique le tableau suivant.

Tableau 4.5.4.11: Répartition du revenu net.

Revenu net	Montant (FCFA)	%
	1 046 865 Fcfa	100
Impôts et taxes (10 % du revenu)	334 285	32,00
Taxe villageoise ou taxe de pâture	156 125	14,91
Service de la dette (Intérêts 10 %)	37 582	3,59
Épargne	518 872	49,56
Valeur de produits autoconsommés	245 000	
Valeur de la main-d'oeuvre familiale	1 168 755	

L'exploitation peut s'acquitter de ses obligations envers les tiers et faire des économies 518 872 Fcfa. La valeur des produits autoconsommés et de la main-d'oeuvre familiale s'élève à un montant de 1 413 755 Fcfa.

4.5.4.2. Résultats du modèle UP_A et situation actuelle UP_A.

Une comparaison entre les résultats du modèle et la situation sur le terrain montre que dans

Tableau 4.5.4.12: Comparaison situation actuelle de l'UP_A et résultats modèle UP_A.

Cultures	Superficie ha	Rendement Kg/ha	Production Kg	Besoins d'auto- consommation Kg	Revenu 1000 Fcfa
Situation actuelle UP_A*					
Mil	4,00	1 033	4 132	2 582	194
Sorgho	6,29	1 082	6 806	1 563	245
Maïs	1,45	1 595	2 313	1 925	80
Niébé	0,21	539	113	300	16
Arachide	0,62	762	472	251	94
Coton	4,45	1 227	5 460		682
Total	17,00				1 314
Résultats du modèle UP_A					
Mil	0,6	4 303	2 582	2 582	121
Sorgho	0,3	5 210	1 536	1 563	56
Maïs	0,8	7 008	5 606	1 925	196
Niébé	0,2	1 505	301	300	45
Arachide	5,3	1 381	7 317	251	1 463
Coton	3,0	2 009	6 028		753
Total	10,2				2 636

* Source: CMDT, F. GIRAUDY & al (1994).

La situation actuelle l'UP_A produit plus de céréales qu'il n'est nécessaire pour satisfaire ses besoins d'autoconsommation. Le surplus est commercialisable.

Le modèle indique qu'en modifiant la structure de la production et en intensifiant l'exploitant peut satisfaire ses besoins d'autoconsommation et doubler ses revenus. Il pourra également dégager 6,8 ha pour d'autres activités.

4.5.4.3. Comparaison des fermes agrégées et du cercle de Koutiala.

Le nombre d'UP total est de 19 002. Il a été calculé à l'aide de la superficie par UP et le nombre total de superficie disponible dans le cercle. Le nombre a été calculé au prorata. Il y a 6 651 UP de type A; 7 981 UP de type B; 2 090 UP de type C et 2 280 UP de type D.

a. Stratégie d'utilisation des terres.

La stratégie d'allocation des terres au niveau région et ferme donnée par le tableau suivant.

Tableau 4.5.4.13: *Utilisation des terres en kilomètre carré*

Sol	Superficie	Culture	Pâturage	Sylviculture
Koutiala	6 027	1 188	4 761	78
Fermes	6 027	1 171	4 773	83
Ecart (%)	0,0	1,4	- 0,3	- 5,6

Le tableau ci-dessus indique que les fermes agrégées ont la même stratégie d'utilisation des terres que la région. En effet, tout comme la région les fermes allouent 20 % aux cultures, 79 % au pâturage et 1 % à la sylviculture. L'écart indiqué dans le tableau est assez acceptable.

b. Possession et répartition des UBT par espèce animale.

Dans le domaine de la possession et la répartition des espèces animales comme l'atteste le tableau suivant il n'y a également pas de différence entre les fermes agrégées et la région.

Tableau 4.5.4.14: *Répartition des UBT par type d'élevage*

Elevage	A	B	C	D	ABCD*	Koutiala	Ecart (%)
Bovins	0,8	0,6	0,5	0,1	11 382	10 510	- 8
Embouche	6,5	8,2	6,9	6,7	138 372	147 739	7
Caprins	0,5	0,3	0,2	0,1	6 366	6 258	- 2
Ovins	0,4	0,2	0,1	0,1	4 693	4 888	4
Boeufs de labour	4,7	2,1	1,5	1	53 433	52 865	- 1
TOTAL	12,9	11,4	9,2	8	214 246	222 260	4

* Sommes pondérée au nombre le nombre de chaque type de ferme.

On observe que les tendances antérieurement énoncées restent valables au niveau des revenus reflétés dans le tableau suivant.

Tableau 4.5.4.15: Revenu par UBT et par type d'UP (Millions de FCFA)

Production de lait	A	B	C	D	ABCD	Koutiala	Ecart (%)
Bovins	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Embouche	0,26	0,32	0,27	0,26	5 457	5 822	7
Caprins	0,02	0,01	0,01	0,00	259	258	- 1
Ovins	0,03	0,01	0,01	0,01	294	288	- 2
Boeufs de labour	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Sous total	0,31	0,35	0,29	0,28	6 014	6 368	6
Production de viande							
Bovins	0,05	0,05	0,04	0,01	843	870	3
Embouche	0,18	0,22	0,19	0,18	3 787	4 045	7
Caprins	0,02	0,01	0,01	0,01	269	263	- 2
Ovins	0,02	0,01	0,01	0,00	265	255	- 4
Boeufs de labour	0,09	0,04	0,03	0,02	1 072	1 054	- 2
Sous total	0,37	0,34	0,27	0,22	6 235	6 487	4
	0,68	0,68	0,56	0,50	12 249	12 855	5

c. Allocation des terres aux cultures

Ici on note trois grandes différences:

La région alloue moins de terre à la culture du maïs que les fermes agrégées.

La région attribue plus de terre au coton

La région affecte plus de terre la culture de l'Andropogon.

Le tableau suivant indique cette situation.

Tableau 4.5.4.16: Superficie par culture et par type d'UP (Km²)

Cultures	A	B	C	D	ABCD	Koutiala	Ecart (%)
Mil	0,006	0,003	0,002	0,001	70	68	- 3
Sorgho	0,003	0,001	0,001	0,001	32	35	7
Maïs	0,008	0,015	0,009	0,004	201	97	- 52
Niébé	0,002	0,001	0,001	0	23	22	- 4
Arachide	0,053	0,024	0,016	0,012	605	595	- 2
Andropogon	0	0	0,002	0,002	9	61	601
Coton	0,03	0,003	0,003	0	230	304	32
TOTAL	0,102	0,047	0,034	0,02	1 170	1 183	1

Cette divergence se reproduit tant au niveau de la production du produit et des résidus qu'au niveau des revenus.

Tableau 4.5.4.17: *Production par culture et par type d'UP (Tonnes)*

Production	A	B	C	D	ABCD	Koutiala	Ecart (%)
Mil	2,58	1,22	0,87	0,57	30 058	29 443	- 2
Sorgho	1,56	0,74	0,53	0,34	18 194	17 824	- 2
Maïs	5,61	11,07	6,35	3,18	146 135	70 454	- 52
Niébé	0,30	0,14	0,10	0,07	3 507	3 435	- 2
Arachide	7,32	3,32	2,23	1,58	83 383	82 186	- 1
Coton	6,03	0,64	0,69	0,07	46 804	62 137	33
Résidus	A	B	C	D	ABCD	Koutiala	Ecart (%)
Mil	4,31	2,05	1,46	0,95	50 213	49 186	- 2
Sorgho	2,09	0,99	0,71	0,46	24 307	23 812	- 2
Maïs	5,11	10,10	5,79	2,90	133 305	64 270	- 52
Niébé	0,31	0,15	0,10	0,07	3 577	3 502	- 2
Arachide	10,46	4,74	3,19	2,27	119 236	117 514	- 1
Andropogon	0,00	0,00	2,70	5,32	17 772	94 266	430
Coton	9,21	1,21	1,30	0,14	73 881	117 092	58
TOTAL	31,49	19,22	15,25	12,09	422 292	469 642	11

d. Utilisation des résidus de récolte

A ce niveau fermes agrégées et région ont la même stratégie:

- Tous brûlent les résidus de coton.
- Les résidus de mil, sorgho, et maïs sont laissés au champ comme fourrage
- Une partie des fanes d'arachide sont transportées à la ferme comme fourrage.
- La totalité des fanes de niébé sont transportées à la ferme comme fourrage.
- Toute la production d'Andropogon est transportée à la ferme.

e. Revenus et coûts.

L'analyse des données du tableau suivant indique qu'il y a pas de différence de taille entre

Tableau 4.5.4.18: *Comparaison des revenus et coût total (fermes et région).*

Indicateurs	Fermes	Koutiala	Ecart (%)
Revenu des cultures	30 234	29 210	- 3
Revenu de la viande	12 249	12 855	5
Revenu du lait	6 014	6 368	6
Coût total	25 071	24 466	- 2

Les résultats au niveau fermes et régional.

Le résultat des fermes agrégées reflètent dans l'essentiel la situation régional.

4.5.5 Conclusion

Il est possible de produire de façon rentable et durable au niveau exploitation agricole. L'intégration agriculture-élevage est le garant de cette rentabilité et durabilité. Les Pâturages soutenus par les activités d'agriculture (résidus de récolte) permettent de satisfaire les besoins alimentaires du bétail. Cette intégration, témoignent les résultats du modèle, permet de générer des quantités importantes d'éléments nutritifs (fumier, azote, phosphate et potasse) permettant de réduire les achats d'engrais azotés et phosphatés. Ces quantités d'éléments nutritifs sont produits à travers les activités de pâturage, sylviculture, de brûlage, de broutage, de fourrages à la ferme et au champ.

L'analyse des coûts d'opportunité indique que certaines ressources (terre et main-d'oeuvre) et objectifs de production constituent des facteurs limitatifs.

La main-d'oeuvre constitue un facteur limitant pendant certaines périodes de l'année.

L'exploitant fera recourt à la main-d'oeuvre extérieure pendant les mois de Juin (2^e et 3^e décades) et d'octobre (2^e décade). La main-d'oeuvre pendant ces périodes constitue un facteur limitant. Au mois de Juin (2^e décade) l'exploitant peut gagner 448 FCFA pour chaque homme-jour supplémentaire qu'il recrute. Au mois d'octobre (2^e décade), il gagnera 1 504 FCFA pour chaque homme-jour additionnel.

La satisfaction de certains objectifs constitue également un facteur limitant.

En effet, la production d'un Kg additionnelle de mil, sorgho et niébé engendrera des pertes de 3, 11 et 14 FCFA.

Quant la production de poteaux comme objectif de production, pour chaque mètre cube de poteau additionnelle l'exploitant perd 26 045 FCFA.

Pour ce qui de la production de lait de caprin et de la production de viande ovine pour chaque Kg additionnelle, l'exploitant perdra 189 et 281 FCFA respectivement.

La terre est, elle aussi un facteur limitant.

Pour chaque hectare additionnel de terre pour culture l'exploitant gagnera 40 400 FCFA. Pour un hectare de terre de pâturages additionnelle, il gagne 18 850 FCFA.

L'analyse comparée des résultats des fermes agrégées et de la région de koutiala montre qu'il y a pas de différence substantielle entre les stratégies au niveau des fermes et au niveau régional.

5. CONCLUSIONS GENERALES

Les résultats des analyses menées à l'aide du modèle PLBM à différents niveaux (zone, cercle et ferme) nous montrent que l'élaboration de stratégies de développement durable est un processus qui nécessite:

- une meilleure connaissance des ressources disponibles (en qualité et quantité);
- et une définition d'activités durables à pratiquer pour atteindre les objectifs avec une meilleure gestion des ressources naturelles

La modélisation (à buts multiples) est un outil qui possède des intérêts multiples:

OUTIL D'ELABORATION ET D'ANALYSE DES STRATEGIES DE DEVELOPPEMENT

L'utilisation du modèle PLBM permet aux décideurs à différents niveaux:

- de mieux définir leurs objectifs de développement,
- et les moyens à mettre en oeuvre pour atteindre ces objectifs (activités à pratiquer et ressources à mobiliser).

OUTIL DE GESTION OPTIMALE DES RESSOURCES NATURELLES

Allocation générale des ressources en terres par activité

	pâturages	cultures	silviculture	jachère	terres non utilisées
Niveau Zone 100%	88%	8%	1%	1%	2%
Niveau Cercle 100%	79%	20%	1%	-	-
Niveau Ferme 100%	72%	27%	2%	-	-

Dans l'allocation des ressources en terres, les résultats du modèle donnent la même tendance aux trois niveaux (zone, cercle, ferme) avec une plus grande part des terres réservées pour les pâturages naturels.

OUTIL DE PREDICTION DE LA VALEUR DES DIFFERENTS OBJECTIFS SELON LA STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DEFINIE

Avec par exemple une stratégie de développement visant à maximiser le revenu tout en satisfaisant l'autoconsommation (céréales, lait, viande), il donne les productions nécessaires ainsi que les activités (cultures, élevage) à mener pour atteindre ces objectifs.

La garantie d'une production agricole pouvant satisfaire les besoins croissants des générations actuelles et futures passe obligatoirement par l'instauration de systèmes de production durable qui est devenu une nécessité incontournable. Cette étude nous a aussi révélé que pour développer des systèmes de production durable en zone soudano-sahélienne du Mali il faut:

- une intégration accrue des activités d'élevage et d'agriculture pour permettre un meilleur recyclage des éléments nutritifs et assurer l'équilibre du bilan nutritif conditionnant les processus de la production agricole;
- et un apport d'intrants externes

En plus de ces conditions il faudrait des politiques macro-économiques d'accompagnement visant à favoriser l'intensification: il s'agit de:

Politique de prix

La viabilité d'un système de production dépend de l'environnement économique (notamment les conditions de prix). Ainsi les politiques de prix qui augmentent le ratio prix des engrais/prix produit n'encouragent pas l'utilisation des engrais. Aussi, si les recettes issues des options techniques utilisées ne peuvent pas compenser les coûts de production les paysans continueront leur pratique de dégradation du sol tant que le prix relatif des éléments nutritifs du sol est moins élevé que celui des engrais chimiques. Les politiques agricoles peuvent pour ce faire rendre une option technique attractive et favoriser son adoption pour un meilleur contrôle de la dégradation du sol.

Circuits de commercialisation des extrants

Il faut enrayer les contraintes des circuits de commercialisation des principaux extrants (filères mil, sorgho, maïs, riz, coton, lait, bétail-viande) pour encourager et induire les productions locales. Les résultats indiquent qu'il est possible d'augmenter la production cotonnière. A l'heure actuelle la production est limitée par la capacité d'usinage de la CMDT. Une augmentation de cette capacité d'usinage permettra certainement de stimuler la production de coton.

Politique adéquate de crédit agricole pour un meilleur approvisionnement en intrants

L'acquisition des intrants se pose en deux temps: En terme structurelle et institutionnelle, certains paysans ont des difficultés d'acquérir les quantités en intrants (aliment bétail notamment) désirés. En terme économique, très souvent les niveaux de revenus d'une majorité de paysans ne leurs permettent pas de faire face à tous les investissements nécessaires en matière d'intensification, notamment en ce qui concerne les achats d'intrants.

Une politique adéquate de crédit bien ciblée selon les niveaux de revenus doit être instituée et renforcée pour permettre aux paysans d'acquérir les intrants nécessaires à la production agricole.

Politique foncière appropriée

Un système foncier adéquat est une garantie pour tout investissement effectué dans le cadre de l'intensification des systèmes de production pour atteindre la durabilité des systèmes de production. Or le système foncier actuel est dominé surtout par la pratique du droit coutumier qui ne laisse aucune garantie au paysan, quant à l'investissement qu'il peut faire sur ses terres. Ainsi la situation du paysan est assez précaire. Du jour au lendemain, il peut perdre sa terre, car il ne tient pas compte des droits coutumiers (Article 127) pour les occuper.

Politiques de subventions

La subvention directe du coût des intrants importés peut être recommandée dans la mesure où l'intensification a un effet positif:

- D'une part sur l'augmentation de la productivité et de la production agricole par la satisfaction des besoins alimentaires de toute la communauté,
- Et d'autre part sur l'instauration d'une durabilité de la production à travers une bonne gestion des ressources naturelles disponibles.

La subvention indirecte peut être aussi envisagée à travers l'appui du gouvernement à la création d'unités locales de fabrication d'intrants pour les rendre mieux accessibles aux producteurs locaux.

En matière de subvention, la contrainte majeure reste tout de même la faible capacité financière des Etats dont les budgets sont grevés par le poids de la dette publique et par les dépenses de fonctionnement.

Les différents résultats présentés dans ce document peuvent être considérés comme préliminaires, aussi l'objectif principal du document est de faire comprendre surtout l'utilité de la modélisation comme outil efficace de gestion et de prise de décision au niveau macro-économique (décideur national, régional) aussi bien qu'au niveau micro-économique (paysan).

L'importance d'un tel outil doit être mise à profit à l'heure où la politique de décentralisation amorcée au Mali entraînera une responsabilisation de plus en plus grande des entités régionales, sous-régionales et paysannes.

BIBLIOGRAPHIE

Brady, Nyle C. The Nature and Properties of Soils. New York : Macmillan, 1974.

BOSMA ROEL ET JAGER BERT, Octobre 1992.

Le fumier : production dans les parc et valeur. Sikasso

DNSI, 1989 Recensement population 1987.

Dureau, D., Traoré, B., and D. Ballo. "Evolution de la fertilité des sols en culture continue dans la zone Mali-Sud ; Système de culture à base de cotonnier."

N'Tarla, Mali : Ministère du Développement Rural, IER, 1994.

François GIRAUDY et al, Avril 1994 Revenus des paysans en zone Mali-Sud.
CMDT/DTCG/Suivi-Evaluation,

François GIRAUDY et al , Juillet 1994. Résultats de l'enquête Agricole Permanente 93/94.
Annuaire statistique de la CMDT.

Impact de la dévaluation sur les prix des engrais et des produits agricoles au Mali.
IFDC, 1995. 17pp

MAIGA Alpha et al. Ajustement structurelle et développement durable. Cas du Mali.
MDRE, IER, Septembre 1994. Page 67

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

Siridie SAMACKÉ et François GIRAUDY, Juillet 1994. L'utilisation de la fumure organique par les exploitations de la région CMDT de Koutiala.

Sissoko, K., 1993. Aspects techniques et socio-économiques de l'insertion de la sole fourragère dans les systèmes de cultures traditionnelles : cas des petits exploitants de Banamba au Mali. Journal RESPAO 3.

Thorbecke, E. Agricultural sector analysis and models in devopping countries,
FAO, Rome 1982.

Van der Pol, Floris. "Soil Mining--An unseen contributor to farm income in southern Mali."
Amsterdam : Royal Tropical Institute, 1992.

Veeneklaas, F.R, S. CISSE. P.A Gossèye, 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. CABO, Wageningen et ESPR Mopti. 182 pp + Annexes.

ANNEXES

Tableau n°1: *Analyse du comportement économique des activités dans différentes conditions de prix des intrants et extrants (valeur ajoutée/ha).*
Caractéristiques des activités retenues

N° de l'activité	Substrat	Culture	Niveau d'intensité	Utilisation des résidus	LAE	Chute du prix produit principal de 20 %	Hausse du prix des intrants N,P,K de 20 %	Chute du prix du produit principal et hausse du prix des intrants N,P,K de 20 %
128	Gravillonnaire	Arachide	Intensif	Libre	Oui	135	167	128
384	Limon-sableux fin	Arachide	Intensif	Libre	Oui	187	229	180
300	Limon-limoneux	Arachide	Intensif	Libre	Oui	250	306	244
212	Limon-argileux	Arachide	Intensif	Libre	Oui	226	276	220
145	Gravillonnaire	Coton	Semi-intensif	Paillage	Oui	4	16	- 8
319	Limon-sableux fin	Coton	Intensif	Paillage	Oui	76	112	66
402	Limon-argileux	Coton	Semi-intensif	Paillage	Oui	65	91	57
234	Limon-limoneux	Coton	Intensif	Paillage	Oui	99	139	88
61	Ecoulement	Coton	Intensif	Paillage	Non	98	141	96
364	Limon-sableux fin	Maïs	Semi-intensif	Libre	Oui	11	14	-10
31	Ecoulement	Maïs	Intensif	Libre	Non	26	41	- 3
195	Limon-argileux	Maïs	Intensif	Libre	Non	46	63	20
284	Limon-limoneux	Maïs	Intensif	Libre	Oui	66	86	35
332	Limon-sableux fin	Mil	Semi-intensif	Libre	Oui	25	27	6
164	Limon-argileux	Mil	Intensif	Libre	Oui	58	69	28
248	Limon-limoneux	Mil	Semi-intensif	Libre	Oui	44	53	33
120	Gravillonnaire	Niébé	Intensif	Libre	Oui	98	123	87
376	Limon-sableux fin	Niébé	Intensif	Libre	Oui	141	175	130
204	Limon-argileux	Niébé	Intensif	Libre	Oui	176	217	167
39	Ecoulement	Niébé	Intensif	Libre	Non	145	183	143
292	Limon-limoneux	Niébé	Intensif	Libre	Oui	199	245	190
92	Gravillonnaire	Sorgho	Semi-intensif	Libre	Oui	- 5	- 7	-21
15	Ecoulement	Sorgho	Intensif	Libre	Non	49	66	34
348	Limon-sableux fin	Sorgho	Semi-intensif	Libre	Oui	37	42	22
180	Limon-argileux	Sorgho	Intensif	Libre	Oui	72	86	43
268	Limon-limoneux	Sorgho	Intensif	Libre	Oui	88	106	64

Tableau n°2: *Caractéristiques des activités retenues: Rendement du produit principal et des résidus, doses appliquées*

N° de l'activité	Culture	Rendement produits (kg/ha)	Rendement résidus (kg/ha)	Quantité fumier (kg/ha)	Dose d'azote (kg/ha)	Dose de P pur (kg/ha)	Dose de K pur (kg/ha)	Hommes jour (Hj)	Boeufs labour (têtes)
128	Arachide	971	1 428	2 678	48	11	22	131	0.9
384	Arachide	1 222	1 762	2 684	52	13	17	138	0.9
300	Arachide	1 540	2 186	3 685	26	22	- 3	135	2.4
212	Arachide	1 381	1 975	2 888	45	12	11	143	1.0
145	Coton	933	0	1 362	104	7	39	116	0.8
319	Coton	1 835	0	2 268	80	25	- 8	164	2.0
402	Coton	1 352	0	1 168	78	9	10	141	0.8
234	Coton	2 042	0	914	103	16	6	180	1.0
61	Coton	1 800	0	5 110	47	12	- 50	171	2.4
364	Maïs	3 424	4 829	1 828	165	14	83	113	0.9
31	Maïs	6 278	5 730	5 105	241	29	88	181	3.0
195	Maïs	6 117	5 583	1 421	197	30	93	172	3.0
284	Maïs	7 339	6 694	2 686	216	52	102	176	2.6
332	Mil	2 163	4 829	1 073	117	10	114	133	0.9
164	Mil	4 311	7 202	635	187	25	163	205	1.4
248	Mil	2 114	4 720	2 415	68	13	60	119	1.5
120	Niébé	1 193	1 221	2 415	33	15	73	125	0.9
376	Niébé	1 478	1 507	2 360	36	18	69	134	0.9
204	Niébé	1 659	1 690	2 525	28	17	60	139	1.0
39	Niébé	1 344	1 373	5 540	- 5	12	2	126	2.5
292	Niébé	1 838	1 870	3 279	9	31	40	133	2.2
92	Sorgho	2 003	3 514	1 664	135	7	77	111	0.9
15	Sorgho	4 427	5 916	5 096	138	16	36	183	2.9
348	Sorgho	2 757	4 832	1 480	125	9	65	123	0.9
180	Sorgho	5 901	7 882	1 112	226	25	118	203	1.4
268	Sorgho	5 802	7 749	2 812	168	36	76	201	1.4

Tableau n°3: *Coût de production, valeur ajoutée et productivité du travail moyen par culture*

Culture	Coût de production	Valeur ajoutée par hectare	Valeur ajoutée HJ	Productivité du travail
Arachide	78	251	1 830	9
Niébé	90	197	1 492	11
Coton	91	108	668	10
Mil	121	69	452	18
Sorgho	132	78	440	25
Maïs	180	78	470	36

Tableau n°4: *Taux de rentabilité par culture et par type de sol*

	Arachide	Niébé	Coton	Mil	Sorgho	Maïs
Écoulement		2.6	1.7		0.6	0.3
Gravillonnaire	2.2	1.4	0.3		0.1	
Limon-argileux	3.8	2.5	1.4	0.6	0.7	0.5
Limon-limoneux	3.7	2.6	1.1	0.8	0.8	0.6
Limon-sableux fin	3.0	1.9	1.4	0.4	0.6	0.3

Fiche de Compte d'Exploitation Général (C.E.G)

(L'unité de mesure est l'hectare)

Travaux Effectués	Main-Oeuvre (hj/ha)	MATERIELS		APPROVISIONNEMENT			
		Nom	Amort	Postes	Qté	P.U	Montant
Labour		Charrue		Semence			
Billon		Multiculteur		N			
Hersage		herse		P			
Battage		Charrette		K			
		Boeufs		Fumier			
				Herbicide			
Total (Hj)		Total (Aa)		Total (Ca)			
Valeur Production (VP) = Production * Prix Amort = Amortissement P.U = Prix Unitaire				Coût de Production sans main-d'oeuvre (CP)		Aa + Ca	
				Valeur de la Production (VP)			
				Valeur Ajoutée/ha (VAha)		VP-CP	
				Valeur Ajoutée/hj (VAhj)		VAha/Hj	

Tableau n°5: *Prix et amortissement du matériel*

Matériel	Prix d'achat en FCFA	Durée de vie.	Amortissement	Pièces détachées	Coût matériel FCFA/an
Multiculteur	72 170 *	7	6 750	1 720	12 030
Semoir	64 750 *	10	6 405	170	6 645
Charrette	75 000 *	10	7 575	640	8 140
Char	125 000 **	10	1 250	1 280	13 780
Herse	22 500 **	10	2 250		2 250
Pulvérisateur	15 000 *	6	1 620	325	2 825
Paire de boeufs	97 500 *	5	7 800		19 500
Paire d'ânes	50 000 **	10	5 000		5 000

Sources:

* François GIRAUDY et al (Avril 1994) Revenus des paysans en zone CMDT.

** Institut d'Economie Rurale (I.E.R) , Coût de production, 1991

Tableau n°6: *Coûts d'opportunité.*

Facteurs limitatifs	FCFA
Main-d'oeuvre extérieure période 8	448
Main-d'oeuvre extérieure période 20	1504
Production de poteaux	-26045
Production de lait de caprins	-189768
Production de viande ovine	-281840
Production de mil	- 3831
Production de sorgho	-11474
Production de niébé	-14826
Terre gravillonnaire (cultures)	38598
Terre limon-argileux (cultures)	40537
Terre limon-sableux-fin (cultures)	42062
Terre gravillonnaire superficiel (Pâturages)	18854

Tableau n°7: *Superficie et rendement par culture et par UP*

Cultures	Superficie (ha)				Rendement (Kg/ha)			
	UP_A	UP_B	UP_C	UP_D	UP_A	UP_B	UP_C	UP_D
Mil	4.00	3.47	1.53	0.96	1033	1027	937	689
Sorgho	6.29	2.84	2.22	1.16	1082	1173	1080	766
Maïs	1.45	0.68	0.53	0.16	1595	1276	1063	992
Niébé	0.21	0.20	0.08	0.01	539	455	362	
Arachide	0.62	0.38	0.18	0.18	762	686	590	565
Coton	4.45	1.59	0.96	0.35	1227	1000	938	1042
Total	17,80	10,10	5,80	3,30				

Source: Annuaire statistique de la CMDT, François GIRAUDY et al , Juin 1994.

Tableau n°8: *Equipement des UP (Nombre)*

	UP A	UP B	UP C	UP D
Charrues	2,0	1,1	0,6	0,1
Multiculteurs	1,8	1,0	0,3	0,0
Houes	0,3	0,1	0,0	0,0
Semoirs	1,0	0,3	0,1	0,0
Appareil ULV	1,1	0,6	0,2	0,0
Appareil herbicides	0,1	0,0	0,0	0,0
Charrettes	1,2	0,7	0,2	0,0

Source: Annuaire statistique de la CMDT, François GIRAUDY et al , Juin 1994.

Tableau n°9: *Nombre de têtes par UP (Nombre)*

	UP A	UP B	UP C	UP D
Bovins	23,13	2,99	0,55	0,13
Ovins	9,61	3,72	1,04	0,10
Caprins	4,72	2,46	1,10	0,46
Anes	1,51	0,73	0,18	0,08
Chevaux	0,06	0,03	0,02	0,00
Porcins	0,11	0,53	0,31	0,82
Boeufs de labour	5,82	2,68	1,00	0,15

Source: Annuaire statistique de la CMDT, François GIRAUDY et al , Juin 1994.

Tableau n°11: Rapport intrants/extrants des activités de culture retenues par le modèle PLBM

Caractéristiques	ACTIVITES (N°)											
	164	352	204	376	212	196	214	216				
Cultures	Mil	Sorgho	Niébé	Niébé	Arachide	Maïs	Coton	Andropogon	Andropogon			
Niveau d'intensité	Intensif	Intensif	Intensif	Intensif	Intensif	Intensif	Intensif	Intensif	Intensif			
Substrat (type de sol)	Lim-arg	Lim-sab fin	Lim-arg	Lim-sab fin	Lim-arg	Lim-arg	Lim-arg	Lim-arg	Lim-arg			
Utilisation des résidus	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre			
Lutte anti-érosive (LAE)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui			
Intrants appliqués												
- Quantité de fumier (kg/ha)	635	1 097	2 525	2 360	2 888	1 802	3 777	2 732	2 390			
- Dose Urée (kg/ha)	187	242	28	36	45	297	98	82	210			
- Dose P ₂ O ₅ (kg/ha)	25	25	17	18	12	35	24	4	18			
- Dose K ₂ O (kg/ha)	163	132	60	69	11	149	41	205	470			
- Main-d'oeuvre (homme-jour)	205	185	139	134	143	183	165	9	20			
- Bœufs de labour (nbr de têtes)	1.4	1.3	1.0	0.9	1.0	1.4	1.0	0.0	0.0			
Extrants												
- Rendement produit (kg/ha)	4 311	5 147	1 659	1 478	1 381	7 259	2 042	-	-			
- Rendement résidus/fanes (kg/ha)	7 202	6 876	1 690	1 507	1 975	6 621	3 849	15 078	26 154			
Evaluation économique												
- Coût de production (Fcfa/ha)												
- Coût matériel	26	26	34	34	32	28	49	8	15			
- Coût engrais	148	156	46	53	30	191	70	106	257			
- Coût fumier	3	4	10	9	12	7	15	11	10			
- Coût total	176	187	90	97	74	226	135	125	281			
- Coût de la production (Fcfa/ha)												
- Valeur produit	203	185	249	222	276	254	255	-	-			
- Valeur résidus/fanes	72	69	68	60	79	66	0	-	-			
- Valeur totale	275	254	316	282	355	320	255	-	-			
Indicateurs économiques												
- Valeur ajoutée (Fcfa/ha)	98	67	226	185	281	94	121	-	-			
- Valeur ajoutée (Fcfa/hj)	481	364	1 623	1 386	1 975	512	729	-	-			
- Productivité du travail (kg/hj)	21	28	12	11	10	40	12	-	-			
- Taux de rentabilité (%)	0.60	0.4	2.5	1.9	4	0.4	0.9	-	-			

Lim-arg: Limon-argileux; Lim-sab fin: Limon-sableux fin

Tableau n° 12: Caractéristiques et rapport intrants/extrants des activités d'élevage retenues par le modèle PLBM

Caractéristiques	ACTIVITES (N°)				
	10	7	10	10	10
Espèce animale	Bovins (Troupeau)	Caprins	Ovins	Embouche bovins	
Niveau d'intensité	Intensif	Semi-intensif	Intensif	Semi-intensif	
Type de menu (q-Bov)	4	3	4	2	
Age de vente des âgées (Ava-Bov)	7	6	6	1 (?)	
Age de vente des femelles (Avf-Bov)	1	1	1	-	
Age de vente des mâles (Avm-Bov)	1	1	1	-	
Intrants					
. Besoins en matière organique digestible (MOD en kg)	1.10	1.98	1.85	0.457	
. Besoins en main-d'oeuvre (Hj)	0.05	0.16	0.14	0.06	
Extrants					
. Rendement viande (kg)	0.08	0.13	0.16	0.101	
. Rendement lait (kg)	0.26	0.27	0.39	-	
. Rendement laine	-	-	0.005	-	
. Rendement en boeufs de labour (têtes)	0.00	0.00	-	-	
. Rendement en animaux d'embouche (têtes)	0.27	0.00	3.67	0.396	
Evaluation économique					
. Valeur viande (Fcf/a)	27 378	42 104	52 104	32 825	
. Valeur lait (Fcf/a)	39 409	41 167	58 945	-	
. Valeur de laine	-	-	530	-	
. Valeur boeufs de labour (Fcf/a)	0.00	0.00	-	-	
. Valeur des animaux embouchés (Fcf/a)	19 974	0.00	91 839	59 474	
. Valeur totale de la production (Fcf/a)	86 761	83 272	203 418	92 299	
. Coût matière organique digestible (Fcf/a)	12 630	17 552	21 121	3 587	
. Coût main-d'oeuvre (Fcf/a)	12 888	44 566	37 108	16 425	
. Coût intrants monétaires (Fcf/a)	3 508	3 256	34 857	4 000	
. Coût total de production (Fcf/a)	29 026	65 374	93 086	24 012	
Indicateurs économiques					
- Valeur ajoutée (Fcf/ha)	57 736	17 898	110 330	68 287	
- Valeur ajoutée (Fcf/hj)	3 360	301	2 230	3 118	
- Production viande (kg/hj)	4,90	2,18	3,24	4,61	
- Production lait (kg/hj)	15,29	4,62	7,94	0,00	
- Taux de rentabilité (%)	199	27	119	284	

