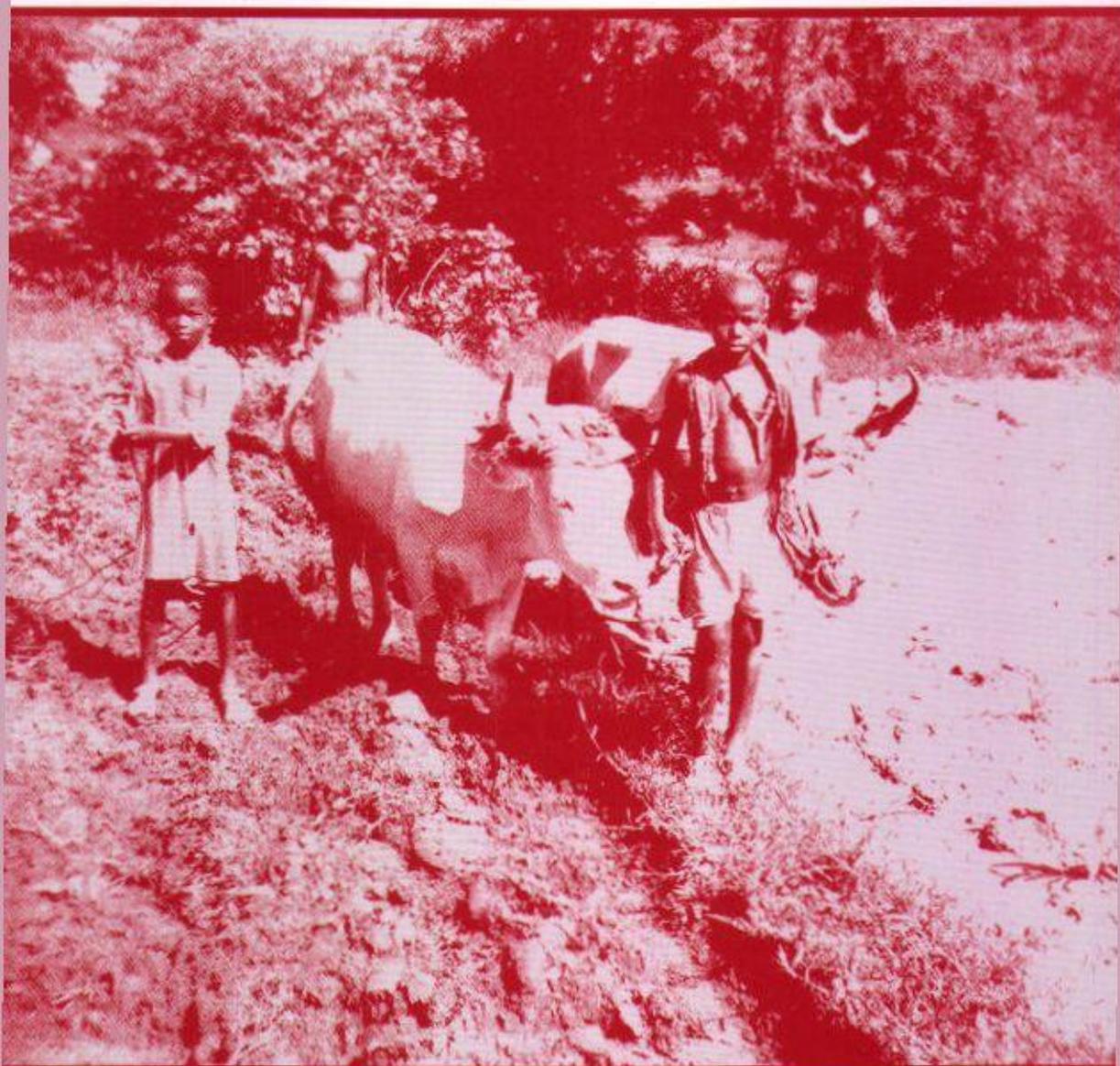


CA
2510
Le chemin l'Agriculture?

Options techniques et mesures politiques pour un
développement agricole durable en Afrique subsaharienne
Cas du Cercle de Koutiala en zone sud du Mali

Keffing Sissoko



Propositions

1. La lutte contre la dégradation des ressources naturelles est une condition indispensable à la promotion d'une agriculture durable dans les Pays de l'Afrique subsaharienne.
2. La pratique d'une agriculture durable est une condition nécessaire pour atteindre le développement économique actuel et futur des pays de l'Afrique subsaharienne. Elle se réalisera d'autant plus que les décideurs nationaux et régionaux prendront conscience de l'utilité de la mise en œuvre des mesures politiques nécessaires pour stimuler la pratique des options techniques intensives durables au niveau des ménages-paysans qui constituent les vrais acteurs du développement agricole (cette thèse).
3. L'intégration de l'agriculture et de l'élevage et leur intensification, permettront d'augmenter la productivité du secteur agricole et d'améliorer la durabilité des systèmes de production agricole (cette thèse).
4. L'utilisation des engrais minéraux est indispensable au maintien de la fertilité des sols ainsi qu'à l'augmentation de la productivité agricole (cette thèse).
5. L'utilisation des engrais minéraux peut être promulguée au niveau ménage-paysan, à condition que sa rentabilité soit assurée à travers des mesures politiques favorables (cette thèse).
6. La supplémentation du bétail en milieu sahélien est une stratégie d'alimentation efficace permettant d'augmenter la productivité animale, et de réduire la pression du bétail sur les parcours naturels. Elle doit cependant être essentiellement basée sur une intensification de l'agriculture, notamment celle des cultures fourragères (cette thèse).
7. La recherche agronomique ne sera le moteur du développement agricole, que si les programmes de recherche sont bien définis, et qu'elle dispose des moyens matériels, financiers et humains suffisants pour la bonne exécution de ces programmes de recherche.
8. La technique de modélisation aide le décideur à mieux orienter ses prises de décision en matière de gestion des ressources naturelles et de politique de développement agricole durable. Les décideurs politiques doivent par conséquent l'utiliser pour éviter des prises de décision sans fondement technique et économique, aboutissant le plus souvent à leur inefficacité.

9. Le but du développement agricole durable est de produire et satisfaire les besoins des générations présentes, sans dommage à la terre qui constitue un moyen principal de production, afin que les générations futures puissent encore mieux l'utiliser pour produire et assurer leur survie.
10. Avant de parler de développement, œuvrons tout d'abord pour la paix et la stabilité dans le monde, car elles constituent les facteurs principaux qui conditionnent un développement durable.
11. Aux Pays-Bas il y a beaucoup d'eau et pas assez de montagnes, par contre au Mali, il y a beaucoup de montagnes et pas assez d'eau. Une "importation" de montagnes du Mali serait envisageable, à condition que les Néerlandais apprennent à déplacer les montagnes.

Propositions présentées avec la thèse de doctorat de Keffing Sissoko:
Et demain l'agriculture ? Options techniques et mesures politiques pour un développement agricole durable ; Cas du cercle de Koutiala en zone sud du Mali.

Wageningen, le 10 novembre 1998

Et demain l'Agriculture ?

Options techniques et mesures politiques pour
un développement agricole durable en Afrique subsaharienne

Cas du Cercle de Koutiala en zone sud du Mali

Promotoren: dr. A. Kuyvenhoven
hoogleraar in de ontwikkelingseconomie

dr.ir. H. van Keulen
hoogleraar in de duurzame dierlijke productie

ANNO 2001, 2518

Keffing Sissoko

Et demain l'Agriculture ?

Options techniques et mesures politiques pour
un développement agricole durable en Afrique subsaharienne

Cas du Cercle de Koutiala en zone sud du Mali

Proefschrift
ter verkrijging van de graad van doctor
op gezag van de rector magnificus
van de Landbouwniversiteit te Wageningen,
dr C.M. Karszen,
in het openbaar te verdedigen
op dinsdag 10 november 1998
des namiddags om half twee in de Aula

im 960726

Thèse Université Wageningen

ISBN 90-5485-991-1

Cette thèse est aussi publiée dans la série
Documents sur la Gestion des Ressources Tropicales, ISSN 0926-9495 ; N° 23
Université Wageningen,
Wageningen, Les Pays-Bas

Cette étude a été soutenue financièrement
par l'Université Wageningen,
par l'Institut de la Biologie Agronomique et de la Fertilité du Sol (AB-DLO) à Wageningen, et
par l'Institut d'Economie Rurale (IER) à Bamako.

Dessin de couverture : Ernst van Cleef

BIBLIOTHEEK
LANDBOUWUNIVERSITEIT
WAGENINGEN

Dédicace

*Cette thèse est dédiée à mon père Yérémake,
à ma mère Diabou,
à mon épouse Mariam, et à nos enfants Makan, Dioncounda et Manda*

Préface et remerciements

La promotion d'une agriculture durable est l'une des préoccupations majeures de la communauté internationale et des gouvernements des pays de l'Afrique Subsaharienne. Pour atteindre cet objectif essentiel pour le présent aussi bien que le futur, il est important que les actions de recherche-développement soient de plus en plus orientées sur la mise au point d'options techniques intensives et durables comme alternatives aux pratiques actuelles non-durables qui entraînent l'épuisement et la dégradation des sols. C'est dans ce cadre que ce sujet de recherche a été initié pour apporter une contribution dans la mise au point des systèmes de production durable à travers la conception de systèmes de production durables et l'analyse des mesures politiques à mettre en œuvre pour promouvoir une agriculture durable à long terme. Le futur est en effet un enjeu à préparer dès aujourd'hui. Pour éveiller les consciences sur cet état de fait, que tous les acteurs du développement essayent de se poser la question de savoir : *Que deviendra mon terroir ?* dans 10, 20, 30 voir 50 ans ou plus. Ce sont les générations futures qui seront là pour toujours habiter et produire sur les mêmes terres. Par ailleurs, *le futur constitue un enjeu d'aujourd'hui*, car certains problèmes d'environnement posés aujourd'hui, ont trouvé leurs origines dans les décennies précédemment écoulées. Vaut mieux donc «prévenir que guérir» en entreprenant des actions dès maintenant, afin de ne pas laisser un héritage de contraintes aux générations futures. Quelques indices alarmants attestent par exemple que la rareté en terres arables s'est accrue à cause du phénomène de dégradation. Il est ainsi projeté qu'en Afrique subsaharienne la disponibilité en terres arables doit baisser de 0.28 ha per capita (sa valeur actuelle) à 0.17 ha en 2025 (WRI, 1990) et à 0.15 ha en 2050 (FAO, 1991). La baisse de la disponibilité en terres arables par habitant est un problème majeur face à la durabilité de l'agriculture, car l'extension des surfaces cultivées se fera sur des terres marginales qui ont une faible capacité de production et qui sont vulnérables à la dégradation. Il y a donc une urgence quant à la *formulation d'instruments politiques* pour stimuler un développement agricole durable.

En matière de recherche agricole, plusieurs investigations ont été menées en milieu paysan pour diagnostiquer le milieu, tester des innovations et analyser le niveau de productivité de l'agriculture. Cependant les études doivent de plus en plus mettre l'accent sur l'analyse multi-échelle. Elle consiste à analyser les interactions entre le niveau paysan (micro) et les niveaux régional et national (macro). De telles analyses permettent de prédire les effets des politiques macro-économiques sur le monde paysan, et d'appréhender la teneur des réactions selon les groupes cibles. Ceci permet d'orienter les efforts vers l'avènement d'un développement agricole durable.

La réalisation de ce travail se place dans le cadre de ces efforts de recherche pour la promotion d'une agriculture durable. Il est organisé en sept chapitres. Les trois premiers chapitres sont axés sur la zone de recherche, les objectifs de recherche, l'approche et la méthodologie de recherche ainsi que les instruments d'analyse utilisés. Les Chapitres 4 et 5 sont consacrés respectivement à l'analyse des perspectives de développement agricole durable et des systèmes de production non-durables dans le Cercle de Koutiala. Leur comparaison en termes de productivité et de stratégie d'allocation des terres permet d'en mesurer les écarts. Cette comparaison permet d'aborder dans le Chapitre 6, les mesures politiques qui s'imposent pour stimuler l'adoption des options techniques intensives durables comme alternatives aux pratiques non-durables à faible productivité et dégradantes pour les sols.

Cette recherche est le fruit d'efforts conjoints multiples tant sur le plan scientifique qu'institutionnel, avec la contribution de près ou de loin de plusieurs acteurs auxquels je tiens ici à présenter mes sincères et vives remerciements :

- Aux professeurs Arie Kuyvenhoven et Herman van Keulen pour le grand intérêt exprimé pour cette étude et tous les efforts déployés pour son exécution, Mes remerciements vont aussi à leur familles respectives pour le bon accueil lors de mes séjours aux pays-Bas.
- Au Rectorat général de l'Université Agronomique de Wageningen pour leur contribution administrative et financière
- aux autorités maliennes et à l'Ambassade Royale des Pays-Bas, pour les efforts administratifs et financiers déployés pour l'exécution de cette recherche,
- à la Direction et à tout le personnel de l'Institut d'Economie Rurale à Bamako,
- à la Direction et à tout le personnel du Centre Régional de Recherche Agronomique de Niono pour l'appui technique, financier et la bonne collaboration,
- à la Direction et à tout le personnel de l'Institut de la Biologie Agronomique et de la Fertilité du Sol (AB-DLO) à Wageningen,
- à Henk Breman pour son appui dans l'initiation de cette recherche,
- à tous les collègues du projet production soudano-sahélienne (P.S.S) dont les résultats ont été utiles à l'exécution de cette recherche,
- à Evert Jan Bakker, Huib Hengsdijk, pour leur collaboration technique appréciable,
- à Mohamed S.M. Touré et Wim Quak, pour la franche collaboration et les efforts conjoints de recherche,
- à Ruerd Ruben, Gideon Kruseman et Rob Schipper pour la bonne collaboration et la disponibilité constante. A tous les membres du Département Economie du développement et leurs familles pour le bon accueil au cours de mes séjours aux Pays-Bas,
- à Peter Uithol, pour son appui de qualité dans les travaux d'édition,
- à Demba Kébé, Hamadi Djouara et tout le personnel de l'équipe systèmes de production et gestion des ressources naturelles de Sikasso pour la franche collaboration,
- à Ousmane Sanogo et tout le personnel du programme économie des filières/IER, pour leur appui de qualité,
- à Néguéba Fané, chef de division défense et restauration des sols (CMDT) et tout son personnel pour le bon accueil et la franche collaboration,
- à la Direction CMDT-Koutiala et Mr.Coulou Diarra, chef section statistiques CMDT-Koutiala, pour la bonne collaboration,
- à M. Issa Tieman Diarra, Commandant de Cercle de Koutiala pour les multiples entretiens fructueux,
- à Bengaly Cissé, délégué du programme fruits et légumes au CRRRA-Niono, pour son appui fraternel,
- à Adama Coulibaly, chef de programme mil et tout le personnel de la station de recherche agronomique de Cinzana, pour la bonne collaboration,
- à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Tables des Matières

Préface et remerciements	vii
Résumé	xi
1 Introduction générale	1
1.1 Situation globale de l'agriculture dans les pays de l'Afrique subsaharienne	1
1.2 Cas spécifique du Mali	5
1.3 Sujet de Recherche	9
2 La politique agricole : Etat, paysans et terres	15
2.1 Introduction	15
2.2 Indicateurs de performance du secteur agricole	16
2.3 Trade-offs entre les différents indicateurs	20
2.4 Production agricole et environnement	23
2.5 Instruments de politique agricole	27
2.6 Politique agricole et allocation des ressources en terres	31
2.7 Politique agricole et comportements des ménages paysans	33
2.8 Conclusions	36
3 Approches et méthodes de recherche	37
3.1 Introduction	37
3.2 Modèle régional : approche et méthode de la programmation linéaire à buts multiples (PLBM)	37
3.3 Structure du modèle régional	40
3.4 Intérêts et limites de l'approche modélisation PLBM	45
3.5 Approche et procédure du modèle ménage-paysan	48
3.6 Structure du modèle ménage-paysan	53
3.7 Méthodologie générale de la planification d'un développement agricole durable	58
4 Perspectives d'un développement agricole durable	63
4.1 Introduction	63
4.2 Ressources et situation socio-économique du Cercle de Koutiala	63
4.3 Formulation du scénario de base d'un développement agricole durable (SP1)	76
4.4 Conditions d'analyse du scénario perspective (SP1)	79
4.5 Options techniques d'intensification des cultures	80
4.6 Scénario perspective d'un développement agricole durable : résultats d'optimisation du revenu régional	87
4.7 Analyses de sensibilité du changement de condition de durabilité	101
4.8 Conclusions	108
5 Systèmes de production agricole non-durables	109
5.1 Introduction	109
5.2 Formulation du scénario de base (SB1)	110
5.3 Disponibilité en ressources et moyens de production	111

5.4	Conditions d'analyse	111
5.5	Options techniques de cultures non-durables	112
5.6	Systèmes de production non durables (scénario de base SB1) : résultats d'optimisation par type de ménage-paysan	114
5.7	Comparaison des systèmes non durables (SB1) et du système intensif durable (SP1) : de la situation actuelle à la situation désirée	122
5.8	Conclusions	127
6	Mesures politiques pour stimuler un développement agricole durable	131
6.1	Introduction	131
6.2	Introduction des options alternatives durables sans mesures politiques (scénario de base 2)	133
6.3	Mesures politiques pour stimuler la pratique des options alternatives durables	136
6.4	Effets des mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans	139
6.5	Analyse globale au niveau régional	147
6.6	Conclusions	154
7	Discussions/conclusions	157
7.1	L'approche systémique et le choix des échelles d'analyse	157
7.2	Rôle de la modélisation technico-économique	158
7.3	Variabilité des conditions économiques et climatiques	159
7.4	Productivité des systèmes de production non durables	159
7.5	Des pratiques non-durables à la durabilité absolue : quelles possibilités pour les pratiques paysannes?	160
7.6	Les conditions de l'instauration d'une agriculture durable	162
	Bibliographie	169
	Samenvatting	177
	Abstract	183
	Annexes :	
	Liste des Abréviations	A1
	Annexes du Chapitre 3	A2
	A3.1. Formulation mathématique du modèle régional de Koutiala (MRK)	A2
	A3.2. Formulation mathématique du modèle ménage-paysan (MMP)	A17
	Annexes du Chapitre 4	A29
	Annexes du Chapitre 5	A33
	Annexes du Chapitre 6	A37
	Au sujet de l'auteur	A39

Résumé

Et demain l'Agriculture ?

Options techniques et mesures politiques pour un développement agricole durable en Afrique subsaharienne. Cas du Cercle de Koutiala en zone sud du Mali.

Situation globale des pays de l'Afrique subsaharienne

Le développement économique des pays de l'Afrique subsaharienne, est basé essentiellement sur l'agriculture qui est un secteur très important dans leurs économies nationales. Dans beaucoup de ces pays, la majeure partie du produit national brut (PNB) provient du secteur agricole. En matière de productivité et de production agricole, la zone soudano-sahélienne se caractérise entre autres par des rendements très bas (cultures et pâturages) dus à la baisse de la fertilité des sols (Penning de Vries & Djitéye, 1991 ; van Keulen & Breman, 1990). C'est l'une des régions du monde où la productivité de l'agriculture est très faible avec un taux de croissance démographique très élevée, créant ainsi un écart important entre production et besoins alimentaires. En comparaison à d'autres régions du monde, le développement économique en Afrique subsaharienne a subi une forte stagnation durant les dernières décennies à cause des contraintes environnementales, agro-techniques, socio-économiques et institutionnelles. Les causes directes de dégradation des ressources naturelles (terres notamment) sont liées à l'inadaptation actuelle des systèmes d'exploitation de l'espace, et en particulier (selon Oldeman *et al.*, 1991) aux techniques de cultures sans restitutions minérales et/ou organiques suffisantes (24% des terres cultivées), au surpâturage (49% des parcours) et à la surexploitation des ressources ligneuses (27% des surfaces boisées). Dans beaucoup de cas, l'épuisement des éléments nutritifs du sol constitue la forme de dégradation majeure. De telles conditions de *sur-dégradation* ont de graves conséquences sur le niveau de production agricole et la disponibilité en terres arables. Il est ainsi projeté que la disponibilité en terres arables doit baisser de 0.28 ha per capita (sa valeur actuelle) à 0.17 ha en 2025 (WRI, 1990) et à 0.15 ha en 2050 selon la FAO (1991).

Cas du Mali

Pour le Mali, *la situation économique générale* est marquée par un Produit Intérieur Brut (PIB) per capita assez bas (environ US \$270). Le secteur *primaire* occupe la première place, avec 46% du PIB, dont la quasi-totalité vient de l'agriculture et l'élevage (DNSI, 1992). Plus de 80% de la population active se trouve dans le secteur rural qui fournit près de 75% des exportations. La pauvreté et la dégradation des ressources naturelles sont aussi parmi les principales *contraintes de développement agricole au Mali*. Pour la zone *Mali-sud*, les pertes en éléments nutritifs de certains systèmes de cultures avaient été estimées comme une partie importante de la marge brute des cultures dans ces systèmes (van der Pol, 1992). Ce qui implique qu'une proportion importante des revenus des ménages-paysans est générée à travers l'épuisement des terres. La zone de recherche ciblée est le Cercle de Koutiala en zone Mali-sud. D'un relief peu accentué, il s'étend sur une superficie de 9075 km², avec une *population* de 286244 habitants, soit une densité moyenne d'environ 31 hbt km⁻² (BCR, 1991). Il est situé à la limite sud de la zone soudano-sahélienne du Mali, avec un

climat de type soudano-sahélien au Nord et soudanien au Sud. La saison pluvieuse s'étale de mai à octobre, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 980 mm (Sivakumar *et al.*, 1984). Six *principaux types de sols* ont été répertoriés dans le Cercle de Koutiala, parmi lesquels une proportion importante (62%) sont de type gravillonnaire peu profond, donc inapte à l'agriculture.

Objectifs et méthodologie de recherche

Les objectifs spécifiques de recherche sont: (1) Définir des options techniques agricoles durables avec différents niveaux de durabilité, (2) Définir et analyser un scénario perspective de développement agricole durable, (3) Explorer les potentialités et possibilités futures d'utilisation des terres dans le cadre de ce scénario pour une gestion optimale des ressources naturelles de la région d'étude, (4) Analyser la situation actuelle des systèmes de production non-durables par type de ménage-paysan, (5) Comparer la situation actuelle avec les résultats d'analyse du scénario perspective et en mesurer les écarts en terme de productivité, de durabilité et de gestion des ressources, (6) Formuler les mesures politiques à prendre pour favoriser l'adoption des options techniques alternatives durables au niveau ménage-paysan.

La méthodologie de recherche est basée sur l'approche systémique avec comme instrument d'analyse la modélisation technico-économique utilisée à l'échelle régionale (macro) et à l'échelle ménage-paysan (micro). Les deux types de modèles utilisés sont : le modèle régional de Koutiala (MRK) et le modèle ménage-paysan (MMP). La procédure de modélisation et la structure des deux types de modèles sont présentées au Chapitre 3. Dans la méthodologie d'analyse des résultats: (1) le système de production intensif durable de l'agriculture mixte est analysé au Chapitre 4 avec le MRK pour explorer les perspectives d'un développement agricole durable futur dans le Cercle de Koutiala; (2) les systèmes actuels non-durables sont analysés au Chapitre 5 avec le MMP en vue d'appréhender la structure de production, ainsi que les niveaux de productivité et de durabilité pour chaque type de ménage-paysan; (3) les résultats obtenus par type de ménage-paysan sont estimés au niveau régional (Section 5.6) sur la base du nombre total de chaque type de ménage-paysan dans le Cercle de Koutiala, afin d'analyser la situation globale des systèmes d'utilisation des terres et le niveau de productivité en condition de non-durabilité; (4) une comparaison de ces résultats estimés au niveau régional est ensuite faite (Section 5.7) avec les résultats d'analyse du système de production intensif durable avec le MRK ; (5) les mesures politiques permettant de stimuler le développement agricole et de réduire les écarts entre situation actuelle non-durable et scénario perspective, sont définies et analysées dans le Chapitre 6, à travers leurs effets sur les comportements des ménages-paysans; (6) l'effet de l'agrégation de la production de céréales au niveau régional sur l'équilibre du marché et le niveau de prix est analysé pour quelques mesures macro-économiques.

Systèmes de production durable

Dans ce sujet de recherche, la question fondamentale abordée est *comment passer des systèmes de production non durables actuellement pratiqués par les paysans (avec épuisement des sols) aux systèmes de production durables souhaités ?* Un scénario perspective de développement agricole durable a été défini sur la base de la pratique de systèmes de production agricole durable de l'agriculture mixte intégrant étroitement les activités d'agriculture, d'élevage et de sylviculture. Dans un tel système, le concept de durabilité a été essentiellement basé sur l'équilibre du bilan des éléments nutritifs, pour éviter l'épuisement des sols. Des analyses de sensibilité ont été effectuées, pour analyser les effets de changement de durabilité sur les résultats. Les principaux résultats tirés de

ces différentes analyses montrent que dans les conditions de non-durabilité (25, 50 et 75% des besoins en éléments nutritifs pour l'équilibre couvert par application des engrais chimiques), les niveaux de production et de revenus nets sont beaucoup plus faibles, il y a une diminution progressive de la production agricole, une baisse de la productivité avec des options techniques non-durables, une augmentation des superficies cultivées (extensification), et une baisse des niveaux de revenu net par unité de surface et par habitant. En condition de durabilité absolue (scénario SP1), il y a par contre une forte production agricole et animale avec des options techniques intensives durables à haute productivité. On obtient un revenu net élevé par habitant et unité de surface malgré un coût d'investissement en intrants plus important.

Systèmes de production non-durables

L'analyse des systèmes de production non-durables effectuée avec le MMP a révélé une différence de productivité entre types de ménage-paysan. Ces derniers ont adopté des stratégies différentes de production et de gestion des ressources en terres, pour la maximisation de l'utilité de consommation et du revenu net, en fonction de leur disponibilité en ressources et en équipement. Le niveau de production et de productivité du type A (disponibilité élevée en ressources) est beaucoup plus élevé que ceux des types B et C (disponibilité restrictive en ressources).

La comparaison des résultats du scénario SB1 estimés au niveau régional (situation actuelle) avec le scénario perspective (SP1), montre des écarts concernant le mode d'allocation des ressources, les niveaux de durabilité et de productivité. La pratique du système de production intensif durable de l'agriculture mixte exige la réduction de ces écarts avec un certain nombre d'implications au niveau ménage-paysan concernant : la gestion des terres selon leur qualité et aptitude, l'intégration de la sylviculture dans les systèmes de production, l'introduction de la sole fourragère dans les systèmes de culture traditionnels, la pratique intensive de la supplémentation du bétail, et l'adoption d'options techniques alternatives durables. La nécessité de *mesures politiques* s'impose donc pour créer les conditions favorables et *stimuler les ménages-paysans* à adopter des options alternatives durables.

Mesures politiques

Le MMP a été utilisé pour analyser les différents scénarios de mesures politiques qui permettent de stimuler la pratique d'options techniques alternatives (intensives durables) au niveau ménage-paysan. Pour ces analyses, plusieurs mesures politiques ont été formulées en vue d'appréhender leurs effets sur les comportements des ménages-paysans. Ces mesures politiques concernent : *la politique de prix, la politique de développement des marchés, la politique de crédit, la politique de gestion des ressources naturelles, et la politique de développement de l'intensification*. Les effets de ces mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans ont permis de les classer en quatre types : très incitatrices, incitatrices, peu incitatrices et non-incitatrices : (1) Les mesures politiques très incitatrices ont un effet très positif aussi bien sur le niveau de revenu que sur le niveau de durabilité ; (2) les mesures politiques incitatrices ont un effet positif modéré sur les niveaux de revenu et de durabilité, (3) les mesures politiques peu incitatrices ont un effet global ambiguë, à cause du fait qu'elles ont un effet positif modéré sur le niveau de revenu mais entraînent en même temps une diminution du niveau de durabilité; (4) les mesures politiques non-incitatrices entraînent en même temps une perte de revenu et une diminution du niveau de durabilité au niveau des *terroirs agricoles*. Les effets indirects escomptés de telles mesures sont cependant importants, à cause

du fait qu'elles peuvent induire une pratique plus intense de la supplémentation du bétail et limiter ainsi la surexploitation des pâturages naturels et la dégradation des *terroirs agro-pastoraux*.

Les effets des mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans ont montré que ces derniers ont réagi favorablement aux différentes mesures politiques tendant à favoriser un développement agricole durable. Ils sont donc assez sensibles aux mesures politiques engagées pour stimuler l'adoption des options alternatives (intensives et durables). Cependant les effets des mesures politiques diffèrent selon les types de ménages-paysans. Par exemple, le taux d'adoption qui est considéré comme la part de la superficie des options alternatives dans la superficie totale par ménage-paysan, a une valeur maximale de 40% pour le type A, en comparaison avec 20% et 11% respectivement pour les types B et C. Ce taux d'adoption élevé chez le type A montre son degré de forte réceptibilité à l'adoption des technologies nouvelles comparativement aux autres types (B, C). Ceci semble lié au niveau d'équipement élevé et à une disponibilité en ressources (terres, main-d'œuvre) suffisante pour permettre une adaptation plus rapide aux nouvelles innovations technologiques durables. Cependant malgré les conditions favorables créées par les mesures politiques très incitatrices et incitatrices, il est important de faire remarquer que comparativement au scénario perspective SP1 (avec 100% d'options alternatives), les ménages-paysans ont eu tendance à combiner la pratique d'options non-durables avec celle d'options alternatives suivant un taux d'adoption maximum de 40% (type A). Le taux d'adoption des options alternatives dépend fortement de leur niveau de rentabilité, c'est-à-dire, de l'importance du ratio coût/bénéfice (RCB). Toute mesure politique tendant à minimiser le RCB des options techniques alternatives favorisera leur adoption au niveau ménage-paysan.

Au niveau régional, l'impact des différentes mesures politiques a été apprécié à travers leurs effets sur les principaux indicateurs ou objectifs de développement régional tels que: la production agricole par habitant et par hectare ainsi que le revenu par habitant et par hectare. Ainsi les mesures politiques très incitatrices et incitatrices ont augmenté très sensiblement le niveau des indicateurs de développement, avec un taux d'adoption appréciable des options alternatives (intensives et durables). Quant aux mesures politiques peu incitatrices et non-incitatrices, le faible taux d'adoption des options alternatives explique le niveau bas des indicateurs. Au niveau régional, certaines mesures macro-économiques induisent une fluctuation de la production agrégée des produits de base (tels que les céréales) qui peut avoir des incidences sur la modification de l'équilibre entre l'offre et la demande au niveau du marché régional des produits de base. Les résultats d'analyse obtenus sur les effets des mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans, révèlent l'intérêt et le pouvoir d'analyse du modèle ménage-paysan, dans son application pour des besoins de formulation de politiques macro-économiques.

De la non-durabilité à la durabilité absolue: quelles possibilités pour les pratiques paysannes ?

L'analyse des perspectives d'un développement agricole durable a montré que le système de production intensif durable de l'agriculture mixte a une très haute productivité due à des apports élevés en fertilisants. Mais force est de reconnaître que la pratique d'un tel système au niveau paysan ne pourrait être réalisable à court terme à cause des multiples contraintes techniques, socio-économiques et institutionnelles, notamment celles liées à l'accessibilité et à la rentabilisation de l'utilisation des engrais minéraux.

Que faut-il faire donc pour changer la situation actuelle ? En d'autres termes, *de la non-durabilité à la durabilité absolue: quelles possibilités pour les pratiques paysannes ?* Le développement agricole durable passe nécessairement par des changements des pratiques paysannes à travers l'adop-

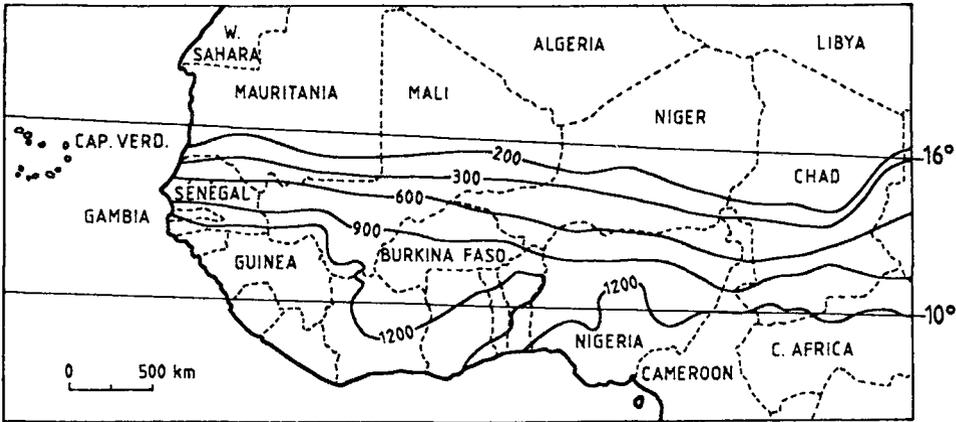
tion de nouvelles technologies alternatives et durables. Les résultats des analyses des scénarios de mesures politiques ont montré qu'on peut améliorer très sensiblement le taux d'adoption des options alternatives durables au niveau ménage paysan jusqu'à 40% environ. Une des possibilités qui existe pour les pratiques paysannes à *court et moyen terme* est l'introduction des cultures fourragères amélioratrices de la fertilité du sol dans les systèmes non-durables. Car elles permettent de minimiser l'apport en éléments nutritifs au niveau paysan et peuvent être utilisés comme aliment bétail de qualité dans la supplémentation du bétail. Dans les perspectives à *long terme*, la comparaison entre les résultats du scénario perspective SP1 et ceux des scénarios politiques amène à conclure que les décideurs au niveau régional sont obligés de limiter leurs ambitions en matière de développement agricole durable, compte tenu des comportements des ménages-paysans en matière d'adoption des nouvelles technologies durables. En effet, le scénario perspective d'un développement agricole durable (avec 100% d'options alternatives durables), ne pourra être que partiellement pratiqué, car les ménages-paysans ont tendance à adopter une stratégie de production mixte en combinant des options techniques non-durables avec quelques options techniques alternatives durables. Une série de mesures politiques et institutionnelles est toujours nécessaire pour stimuler d'avantage les ménages-paysans à la pratique d'une agriculture durable. Il s'agit surtout des mesures politiques visant: la rentabilisation de l'utilisation des engrais minéraux, la valorisation des terres et la sécurisation foncière, la responsabilisation des collectivités locales à travers la décentralisation, la coordination des actions de développement au niveau régional, l'orientation de l'investissement en milieu rural, et une politique de recherche scientifique et technologique orientée vers le développement agricole durable.

Le Cercle de Koutiala constitue l'un des potentiels agricoles du Mali, en matière de production cotonnière aussi bien que vivrière. Mais cette production agricole importante ne doit pas se réaliser aux dépens de l'épuisement des sols. Sinon ceci aboutira sans nul doute à moyen et long terme à un problème environnemental dont l'amorce a déjà commencé dans le bassin cotonnier de Koutiala. Il faudrait dans ce cas que des mesures politiques appropriées puissent être prises par les décideurs (niveau régional et national), pour pouvoir inciter les paysans à s'orienter d'avantage vers la pratique d'une agriculture durable par l'adoption d'options techniques alternatives, intensives et durables. Ceci permettra au Cercle de continuer à occuper la place importante qui est le sien dans le développement agricole durable au Mali.

1 Introduction générale

1.1 Situation globale de l'agriculture dans les pays de l'Afrique subsaharienne

Les pays de l'Afrique subsaharienne, situés au sud immédiat du Sahara (Carte 1.1, Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau, Mauritanie, Mali, Niger, Burkina Faso, Tchad) sont caractérisés par un climat tropical avec une seule saison de pluies à durée limitée (2 à 4 mois). A l'hivernage succède une période sèche de 8 à 10 mois où les activités agricoles sont alors centrées sur les zones irriguées et sur les zones de décrue. Cette région subsaharienne se subdivise en deux principales zones agro-climatiques : le nord et le sud. Le nord est à dominante pastorale, car la courte et faible pluviométrie ne permet pas la pratique des cultures pluviales. Le sud est à dominante surtout agricole avec une intégration de plus en plus forte à l'élevage. La pluviométrie moyenne est comprise entre 400 et 900 mm an⁻¹. Sur le plan géographique et économique, la région de l'Afrique subsaharienne constitue une zone de transition entre l'Afrique du nord et l'Afrique des forêts et des savanes. Sur le plan historique, c'était une région d'échanges commerciaux et de mouvements humains qui ont contribué à la formation d'une mosaïque de sociétés fortement intégrées aux échanges marchands et ouvertes aux changements (Niangado, 1998).



Carte 1.1. Pays de l'Afrique subsaharienne (Breman & Kessler, 1994).

Le développement économique de ces pays, est basé essentiellement sur l'agriculture qui est un secteur très important dans leurs économies nationales. Dans beaucoup de ces pays, la majeure partie du produit national brut (PNB) provient du secteur agricole. En matière de productivité et de production agricole, la zone soudano-sahélienne se caractérise entre autres par des rendements très bas (cultures et pâturages) dus à la baisse de la fertilité des sols (Penning de Vries & Djitéye, 1991 ; van Keulen & Breman, 1990). A cela il faut ajouter la baisse de fertilité des sols due à leur surexploitation, la croissance démographique et la grande variabilité de la pluviométrie (Vierich &

Stoop, 1990). C'est ainsi l'une des régions du monde où la productivité de l'agriculture est très faible avec un taux de croissance démographique très élevée. La situation des pays de l'Afrique subsaharienne comme d'autres pays en voie de développement, a été en effet marqué par une croissance démographique rapide durant les trois dernières décennies sans que ne soit réalisée une productivité agricole correspondante. Ce qui crée un écart important entre production et besoins alimentaires. Ainsi en comparaison à d'autres régions du monde (Tableau 1.1, World Bank, 1992), le développement économique en Afrique subsaharienne a subi une forte stagnation durant les dernières décennies. Les raisons principales d'une telle stagnation du développement agricole et économique sont liées à des contraintes d'ordre environnemental, agro-technique, socio-économique et institutionnelle.

Tableau 1.1. Croissance réelle du revenu par habitant (% annuel moyen de variation) dans les pays développés à haut revenus et les pays en voie de développement.

Groupes de pays	1960-70	1970-80	1980-90	1990
Pays développés à haut revenu	4.1	2.4	2.4	2.1
Pays en voie de développement	3.3	3.0	1.2	-0.2
Afrique subsaharienne	0.6	0.9	-0.9	-2.0
Proche-orient et Afrique du Nord	6.0	3.1	-2.5	-1.9
Asie et Pacifique	2.5	3.1	5.1	3.9
Amérique latine et Caraïbes	2.5	3.1	-0.5	-2.4

Source : World Bank, 1992

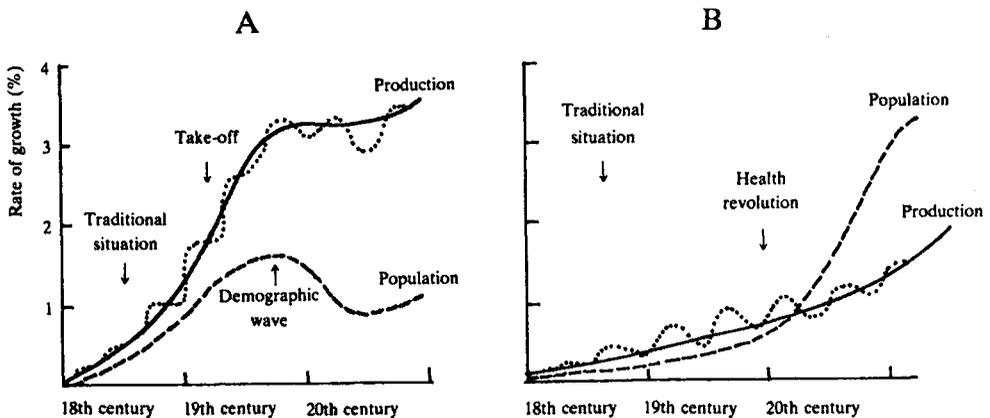


Figure 1.1. Tendances de l'évolution de la production et de la population dans les pays industrialisés (A) et dans les pays en voie de développement (B) (Source : Beets, 1990).

1.1.1 Les contraintes de développement agricole

Contraintes environnementales

La dégradation du milieu physique¹ est l'une des principales contraintes de développement agricole en Afrique subsaharienne. Au niveau environnemental, la production agricole durable est liée à une meilleure conservation des ressources naturelles. Dans cette région subsaharienne, la détérioration de l'environnement est donc un phénomène qui compromet la disponibilité en nourriture. Le système de cultures itinérantes avec longue jachère qui était traditionnellement pratiqué pour maintenir la fertilité des sols a disparu à cause de la forte croissance démographique. Maintenant, les paysans retournent sur les mêmes terres chaque 5 à 10 ans par rapport à chaque 20 à 25 ans comme ils le faisaient dans le passé (Delleré, 1993). Les courtes périodes de jachère prohibent la régénération complète des plantes, accélérant ainsi la dégradation des terres.

Contraintes agro-techniques

La perpétuation de la pratique des techniques de production basées sur l'exploitation extensive des ressources, ne résulte que d'une faible productivité agricole. Dans l'élevage aussi bien que dans l'agriculture, les techniques extensives basées sur l'utilisation d'une main-d'œuvre abondante prédominent encore et limitent donc la productivité et entraînent la surexploitation des ressources. L'intensification de certaines cultures de rente telles que le coton, s'est exceptionnellement développée grâce à l'existence d'une demande solvable et en dépit de la détérioration constante des termes de l'échange. Les actions menées depuis plusieurs décennies dans le domaine de la recherche agricole ont permis la mise au point de quelques paquets techniques dont l'adoption est restée timide à cause surtout des conditions socio-économiques. Malgré tout des efforts importants restent encore à faire pour la mise au point d'options techniques intensives durables et appropriées dans le domaine de l'agriculture et de l'élevage, et leur intégration dans les pratiques paysannes.

Contraintes socio-économiques et institutionnelles

En plus des contraintes environnementales et agro-techniques, plusieurs autres contraintes d'ordre socio-économique et institutionnel entravent le développement agricole dans les pays en voie de développement et particulièrement ceux de l'Afrique subsaharienne. Parmi la diversité de contraintes socio-économiques (Témé *et al.*, 1995) on peut citer entre autres :

1. *L'insuffisance du crédit agricole doublée d'un accès difficile* qui limite la capacité de production et d'investissement d'une grande majorité de paysans et d'opérateurs économiques évoluant dans les filières agricoles.
2. *La politique inadéquate de fixation des prix* des produits agricoles, qui entraîne une faiblesse du rapport de prix des extrants/intrants, et une diminution de la rentabilité de la production agricole provoquant une baisse des revenus des producteurs.
3. *La faible taille des marchés nationaux et leur intégration insuffisante* au niveau sous-régional, ainsi que la *connexion insuffisante* entre demande urbaine et offre rurale, entraînant une limitation des débouchés pour l'écoulement des productions agricoles.

¹ Dans le Chapitre II, plus de détails sont donnés sur l'ampleur de la dégradation des ressources naturelles dans les pays de l'Afrique subsaharienne.

4. *La faible compétitivité des produits agricoles sur les marchés internes et internationaux*, liée à des phénomènes tels que le dumping et la détérioration des termes de l'échange.
5. *Le développement insuffisant ou l'inexistence d'infrastructures publiques* pour l'éducation, la santé, les transports, et la commercialisation (écoles, routes, infrastructures socio-sanitaires, marchés) accentue l'enclavement de nombreuses zones rurales à forte potentialité de production, et limite le bien-être des populations rurales. Ce qui provoque l'exode rural en l'absence d'une vraie politique de développement des emplois en milieu rural.
6. *Le niveau d'intégration insuffisant des organisations paysannes* dans les prises de décisions concernant le développement à la base. Ce qui entraîne l'échec de plusieurs actions de développement.
7. *L'inefficacité des systèmes de vulgarisation, d'information et de formation* concernant le monde rural entraînant un faible impact des résultats de recherche.
8. *La faible performance des instances nationales de prise de décision* dans la formulation et la proposition de réelles stratégies nationales de développement, liée à une faible organisation structurelle.
9. *L'insuffisance d'industries locales* orientées sur la transformation de produits agricoles ainsi que la fabrication et la fourniture d'intrants spécifiques à l'agriculture intensive.
10. *L'existence de droits fonciers confus* entraînant une ambiguïté dans leur pratique qui aboutit le plus souvent à un manque de rigueur dans leur application. Dans plusieurs cas les nouvelles législations en matière de droit foncier n'arrive pas non plus à juguler le droit foncier traditionnel, et on note toujours la survivance des liens féodaux d'occupation et d'exploitation de l'espace. Ce qui donne lieu à l'insécurité foncière et aux conflits fonciers.

Depuis plusieurs décennies, les gouvernements des pays concernés et les organismes internationaux de recherche-développement tentent de trouver des solutions appropriées à la plupart de ces contraintes. Si certaines d'entre elles ont trouvé des débuts de solutions, d'autres ont encore besoin d'efforts continus pour asseoir des solutions durables et préserver les acquis.

1.1.2 Nécessité de formulation de politique de développement agricole durable

Les solutions à toutes ces contraintes citées ci-dessus, ne sauraient être trouvées sans la définition de politique de développement agricole durable appropriée et efficiente. En effet selon Diouf (1989) : « *le manque d'accroissement substantiel de la production agricole dans beaucoup de pays africains est lié non seulement au manque d'intégration des nouvelles technologies agricoles, mais aussi parce que beaucoup de pays n'ont pas adopté les politiques nécessaires qui pouvaient leur permettre de s'en procurer* ». La formulation d'une stratégie nationale de développement agricole durable doit être basée sur des critères agronomiques et économiques qui pourront entraîner une utilisation judicieuse des ressources disponibles. En effet, le rôle important de l'agriculture comme moteur du développement économique global sera de plus en plus compromis si des solutions urgentes ne sont pas trouvées au problème de dégradation de l'environnement et de manque de stratégie agricole appropriée. Il est donc nécessaire de formuler des nouvelles stratégies sur la base d'une approche intégrée qui embrasse la fertilité des sols et l'étude globale des systèmes de production (Gliessmann, 1985, Conranced *et al.*, 1987). Cette formulation de politiques² de développement agricole durable doit ainsi prendre en compte :

² D'amples détails sont donnés sur les instruments de politique agricole à formuler dans le Chapitre II.

- l'élaboration des techniques de gestion des ressources naturelles à faire réaliser par les habitants des terroirs,
- l'adoption des lois sur la gestion des ressources naturelles au niveau national ;
- la création d'un environnement socio-économique favorable,
- l'orientation des programmes de recherche sur la mise au point de paquets technologiques intensives durables,
- l'examen de la structure foncière,
- le support à la formation et à la dynamisation des associations paysannes,
- la création des structures locales de crédit agricole,
- la création des facilités d'acquisition d'intrants agricoles,
- la création de systèmes locaux et inter-régionaux de commercialisation (Altieri, 1983).

1.2 Cas spécifique du Mali

1.2.1 Situation économique générale

Situé en Afrique subsaharienne occidentale, le Mali est un pays couvrant une superficie de 1.248.574 km², découpé en 8 principales régions administratives (Kayes, Koulikoro, Sikasso, Ségou, Mopti, Tombouctou, Gao, Kidal) et le District de Bamako. Il est arrosé par deux fleuves, le Sénégal et le Niger, avec une saison sèche de longue durée et une saison des pluies de courte durée atteignant à peine un mois au Nord du pays et un maximum de quatre mois au Sud.

Les principaux traits de l'économie malienne se caractérisent par un Produit Intérieur Brut (PIB) per capita assez bas (environ US \$270) et un secteur *primaire* très important, qui occupe la première place dans la structure du PIB, avec 46% du PIB, dont la quasi-totalité vient de l'agriculture et l'élevage (Tableau 1.2). En dehors des années de sécheresse, la production du secteur agricole a eu tendance à croître régulièrement au cours des trente dernières années grâce à l'accroissement des superficies, mais aussi à des gains de productivité imputables aux politiques et programmes de développement. Plus de 80% de la population active se trouve dans le secteur rural qui fournit près de 75% des exportations. La contribution du *secteur tertiaire* est environ 37% du PIB. D'après les données de 1988-91, ce secteur contient la seule branche dont la valeur ajoutée s'accroît systématiquement : le commerce. Cette tendance doit continuer avec la libéralisation du marché en cours par le renforcement du secteur privé. La contribution de l'industrie au PIB est encore faible. Elle est concentrée sur le coton fibre, les tissus, le sucre, les boissons non alcoolisées, les cigarettes et l'électricité. Les importations sont essentiellement : les machines et véhicules (36% en 1990) suivis des produits agro-alimentaires et des produits pétroliers. Les principales exportations sont : le coton (47% en 1990), le bétail, l'or et le diamant. Comme beaucoup d'autres pays africains, le Mali se trouve dans une période de transition économique. Cette transition est caractérisée par la mise en œuvre de Programmes d'Ajustement Structurel qui se sont traduits par le désengagement de l'Etat et diverses réformes économiques. Les principales mesures prises dans ces programmes concernent la libéralisation progressive du marché des céréales, la réforme de la commercialisation du coton, la limitation des dépenses publiques, notamment de celles relatives au personnel et enfin la réforme du secteur des Entreprises Publiques : liquidation, privatisation, réhabilitation. La dévaluation du Franc CFA intervenue en janvier 1994, doit malgré tout aider le Mali à rendre plus compétitives ses productions nationales (coton, riz et sucre, etc.), à augmenter le revenu du monde rural et à re-

hausser les exportations de la viande et du bétail dans les pays voisins. Elle doit stimuler l'entreprise d'activités économiques, et augmenter ainsi la production nationale (World Bank, 1994).

Tableau 1.2. Le Produit Intérieur Brut (1990), sa répartition et quelques autres caractéristiques de l'économie du Mali (exprimées en milliards F CFA).

Principaux indicateurs	Valeurs	Principaux indicateurs (suite)	Valeurs
Produit intérieur brut (PIB)	666	importations	168
Taux de croissance du PIB en volume (%)	1.0	dont : produits alimentaires (%)	19
PIB per capita (milliers F CFA)	82.4	machines et véhicules	60
		produits pétroliers	15
Répartition du PIB	%	autres	6
Secteur primaire	45.6	exportations	94
Agriculture vivrière	13.1	dont : coton (%)	44
Agriculture industrielle	3.4	bétail	25
Élevage	22.9	l'or et diamant	13
Pêche	0.9	autres	18
Sylviculture	5.2		
Secteur secondaire	12.8	taux de couverture (exp./imp.) (%)	56
Industrie moderne	6.5	solde balance commerciale (exp.-imp.)	-74
Mines	1.5	solde balance biens et services	-96
Artisanat	1.3	solde balance courante	-34
Bâtiments et travaux p.	3.6	solde global des paiements	20
Secteur tertiaire	37.0	budget :	
Transports	4.7	- recettes	250
Commerce	17.9	- dépenses	261
Services non marchands	6.2	- déficit	11
Autres services	8.2	dette publique	
Taxe à l'importation	4.6	- encours	1046
Total	100	- services	19
		- ratio service/exportations (%)	20

Source : DNSI, 1992.

La politique de décentralisation dans laquelle l'Etat malien s'est engagé depuis quelques années, vise à donner aux populations plus de responsabilité dans la détermination et l'exécution des programmes et activités de développement à la base. C'est ainsi qu'il y a la mise en place de conseils et comités locaux de développement chargés respectivement de l'orientation et de l'élaboration des programmes de développement. Quant aux associations de villageois et d'opérateurs privés, elles sont surtout responsabilisées dans les opérations d'approvisionnement et de vente qui leur sont laissées avec le désengagement du secteur public. Un autre aspect est le souhait, officiellement exprimé de l'intégration des femmes au développement.

1.2.2 Contraintes spécifiques de développement agricole

Extensification agricole et distorsion des prix

Au Mali comme dans beaucoup de pays de la sous-région, l'augmentation de la production agricole au cours de ces dernières années qui a été surtout réalisée sur la base de l'extensification agricole (augmentation des superficies cultivées). L'intensification agricole qui correspond à l'augmentation de la production par unité de surface, nécessite une utilisation substantielle des intrants externes (fertilisants notamment). Or la faible capacité d'investissement des paysans et la distorsion des prix des produits agricoles aux producteurs par rapport à ceux des intrants, ne permet pas une utilisation intense de la fumure minérale. Dans cette situation, les revenus paysans ne cessent de baisser. Dans certaines zones du Mali (par exemple pays dogon, guidimaka), une des stratégies essentiellement adoptée par les paysans est la migration de la main-d'œuvre pour compenser la faiblesse des revenus. Cela a pour conséquence le départ de bras valides et la perpétuation des flux migratoires de main-d'œuvre pour juguler une paupérisation croissante. Le riz et le coton sont les deux spéculations dont l'intensification est en nette progression depuis quelques années, grâce à quelques conditions spécifiques. En effet, le riz bénéficie de conditions d'irrigation avec l'encadrement de l'Office du Niger et de crédit intrants de la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA). Quant au coton, il bénéficie aussi de crédits intrants et équipement, et d'un encadrement renforcé de la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT). Concernant les prix des produits agricoles, la restructuration du marché céréalier de 1987/88 a eu pour conséquence une libéralisation accentuée, ce qui signifie que les prix sont déterminées par l'offre et la demande, et non fixée par l'état. Cette tendance a continué ces dernières années. Seul le coton est vendu à un prix fixé (selon les conditions du marché mondial) par la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT).

Productivité et compétitivité des produits d'élevage

Dans le domaine de l'élevage, la situation qui prévalait au Mali dans la période d'avant la grande sécheresse rappelle les périodes où la demande du bétail malien de l'ensemble des pays côtiers dépassait ou ajustait bien l'offre avec des prix rémunérateurs. Les cas de surpâturage n'étaient pas aussi accentués. Mais depuis l'avènement de la sécheresse (années 1973 et 1984), le nombre d'animaux a fortement décliné et la capacité de charge des pâturages s'est beaucoup affaiblie. Après la sécheresse, la période de reconstitution du cheptel a coïncidé avec le dumping des excédents communautaires de viande de l'Europe. Les conséquences sont la diminution des revenus tirés de l'élevage, et l'impossibilité pour l'éleveur de payer d'autres intrants. On note cependant au cours de ces dernières années, l'effet favorable de la dévaluation qui a rendu le bétail du Sahel beaucoup plus compétitif sur les marchés ouest-africains.

Problématique du droit foncier

Pour la production du secteur primaire, la terre est un facteur de production très important. Au Mali, le régime foncier traditionnel est assez dominant notamment en milieu rural où ce sont surtout les propriétaires traditionnels des terres qui font les décisions en matière d'utilisation des terres. Cependant, selon le code domanial et foncier, la terre et tout ce qu'elle supporte, naturellement sont propriétés de l'Etat malien qui peut se désaisir de tout ou partie de ce droit dans des conditions

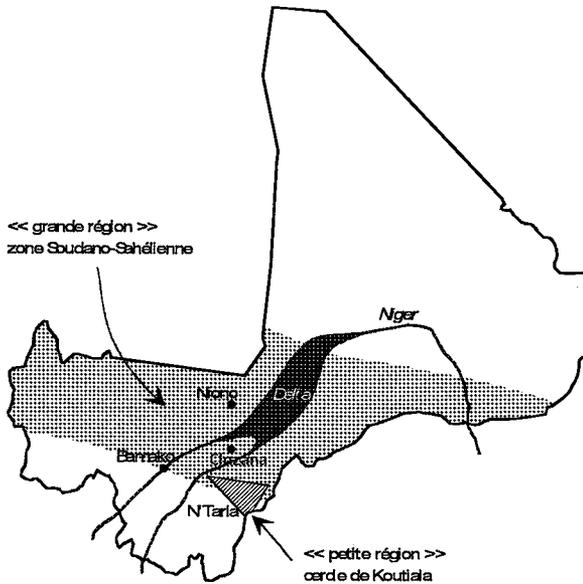
et suivant des procédures déterminées. Les difficultés de l'Etat à imposer ce droit au monde rural ont comme effet un manque d'application et de suivi des procédures telles qu'elles sont consignées dans le Code Foncier et Foncier, méconnu des paysans. Une des conséquences est le conflit qui existe entre agriculteurs et éleveurs (Breman & Traoré, 1987). La pratique de l'agriculture extensive et la croissance démographique entraînent des besoins toujours croissants en terres arables qui amènent les agriculteurs à agrandir les superficies cultivées. La conséquence en est une diminution des parcours de pâture. En effet, l'extension des cultures aux terres réservées aux pâturages au-delà de certaines proportions se réalise au détriment des activités d'élevage. Au même moment le nombre de ruminants a augmenté, surtout à cause des achats d'animaux par les agriculteurs dont les revenus ont augmenté par la pratique de cultures de rente telle que le coton. Ainsi les possibilités de production pour l'élevage traditionnel ont diminué considérablement. A leur tour, les cultivateurs souffrent à cause des dégâts faits dans leur champs par des animaux. Cette concurrence des deux activités sur les terres crée une tension qui est source de conflit permanent entre éleveurs et agriculteurs. Pour résoudre le conflit et pour éviter la surexploitation continue des terres, il est nécessaire de résoudre le problème foncier par la définition et le renforcement du respect strict des droits fonciers régissant l'utilisation des terres.

Pour faire face à ces contraintes, le gouvernement du Mali s'est fixé un certain nombre d'objectifs consignés, dans le schéma directeur du développement rural au niveau national (Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de l'Environnement, 1992a). Parmi les principaux objectifs retenus dans ce plan d'action, il y a : la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles (durabilité), la diminution de l'exode rural et la maximisation de l'offre d'emploi, la garantie de l'autosuffisance et de la sécurité alimentaire, la promotion des exportations, l'intégration agriculture-élevage, la diversification de la production agricole, et l'intégration de la femme au développement.

1.2.3 Intensification et durabilité des systèmes de production agricole

Le Mali, comme la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne se trouve devant un dilemme et un constat amère : d'une part, les ressources sont surexploitées et deviennent de plus en plus limitées, et d'autre part, la croissance démographique Homme et bétail. La question fondamentale est donc comment satisfaire les besoins de cette population croissante tout en préservant la qualité des ressources naturelles. Car, comme le dit un adage « *la terre ne nous est pas léguée par nos pères, elle nous est prêtée par nos petits enfants* ». En un mot, il faut toujours produire sur les mêmes sols pour satisfaire les besoins d'aujourd'hui et maintenir la capacité de production des sols pour garantir la production de demain.

Au Mali, la dégradation des ressources naturelles est beaucoup plus accentuée en zone soudano-sahélienne, comprise entre les isohyètes 300 et 900 mm de pluie, et constituant la zone de transition entre le Sahel et le Soudan (Carte 1.2, Breman & Sissoko, 1998). La nécessité d'intensifier s'impose donc pour éviter la dégradation des ressources (sols, pâturages). Cette intensification se définit comme un processus avec une utilisation élevée d'intrants externes permettant d'augmenter la production par unité de production (terre ou animal) à travers une utilisation efficace des moyens de production. Cependant, pour être efficace, l'intensification doit être accompagnée par des mesures politiques sur le plan macro-économique aussi bien que micro-économiques pour soutenir les efforts d'investissements des producteurs.



Carte 1.2. Zone soudano-sahélienne du Mali. Source : Breman & Sissoko, 1998.

1.3 Sujet de Recherche

1.3.1 Zone de recherche

La zone de recherche ciblée est le Cercle de Koutiala situé en Zone Mali-sud. Cette zone qui couvre la région de Sikasso et une partie des régions de Ségou et de Koulikoro (Carte 1.3) possède de grandes potentialités agricoles. La contribution de la zone Mali-sud dans la production nationale est d'environ 100% pour le coton, 37% pour les mil/sorgho, 63% pour le maïs, et 13% pour l'arachide (Berthé *et al.*, 1991). Plusieurs études ont été réalisées dans cette zone par les organismes de recherche-développement (IER/KIT, CMDT, etc.) en vue de suivre la dynamique des systèmes de production et de la gestion des ressources naturelles. Les ressources naturelles dans cette zone ont subi de très fortes pressions du fait des profonds changements intervenus depuis plusieurs années. Parmi ces changements on peut citer notamment :

- **Au plan climatique** : les variations pluviométriques (faiblesse et inégalité de répartition) ;
- **Au plan démographique** : la croissance de la population, le développement des villes, et l'exode rural ;
- **Au plan économique** : l'importance des cultures de rentes, et le remplacement d'une agriculture de subsistance par une économie monétaire ;
- **Au plan technique** : l'amélioration du niveau d'équipement par l'introduction de technologies et d'outils pour la mise en valeur de nouvelles terres.

- **Au plan environnemental** : L'épuisement des terres, l'érosion, la dégradation des sols et des végétations naturelles, la diminution des réserves forestières, varient fortement suivant les zones considérées mais toutes sont affectées à des degrés divers. Concernant la situation de la gestion des ressources naturelles, la zone Mali-sud se subdivise en six principales zones (Carte 1.4, Projet PGT, 1995) : Zone A : zones vides du Sud, Zone B : frange de mise en valeur du Sud, Zone C : espaces hétérogènes de Sikasso, Zone D : auréole d'extension du bassin cotonnier, Zone E : bassin cotonnier, Zone F : frange Nord

Selon cette classification, c'est le bassin cotonnier centrée sur le Cercle de Koutiala qui cumule l'ensemble des problèmes de gestion des ressources naturelles : les densités humaines y sont élevées et la croissance démographique soutenue. C'est une zone où la pression sur les terres est très forte, car il y a d'une part l'agriculture qui se développe avec un système de production cotonnier généralisé, utilisant de manière intensive la culture attelée. D'autre part, les revenus tirés du coton sont essentiellement réinvestis dans le bétail qui constitue la forme d'épargne la plus pratiquée dans la zone. Ce phénomène est à la base de l'augmentation importante du cheptel dans le Cercle de Koutiala, durant ces dernières années. A cela s'ajoute la pression des éleveurs transhumants. L'occupation des terres est maximale avec la saturation des terroirs villageois. Ce développement interne de l'élevage et cette pression externe des transhumants accentuent la dégradation des ressources, due notamment au surpâturage. La durée de jachères est raccourcie et les apports de fertilisants ne suffisent pas pour restaurer la fertilité des sols. Dans la zone en moyenne 25 et 20 kg ha⁻¹ d'azote et de phosphore sont respectivement exportés annuellement de la réserve des éléments minéraux des sols (van der Pol, 1992). La diminution des taux d'éléments nutritifs et de matière organique menace ainsi la capacité productive des sols. L'épuisement des sols par les pratiques agricoles non-durables, l'érosion, la croissance animale et humaine se conjuguent pour rendre les terres de moins en moins productives et accélèrent la dégradation des sols compromettant dangereusement les rendements et par conséquent l'autoconsommation et la sécurité alimentaire à moyen et long terme. Si cette situation se prolonge, le capital-sol risque de ne plus pouvoir être reconstitué et ceci pourrait compromettre la production à moyen et long terme ainsi que la survie des générations présentes et futures.

En zone Mali-sud, comme dans la plupart des régions du Mali, une plus grande attention doit donc être donnée à la gestion des ressources naturelles, pour permettre une production agricole durable. C'est pour aborder cette question, que cette recherche a été initiée et centrée spécifiquement sur l'étude de cas du Cercle de Koutiala qui est situé au Nord de la zone Mali-sud à la limite même de la zone soudano-sahélienne du Mali. Il est dès lors nécessaire de mener des efforts de recherche d'options techniques durables à pratiquer dans le cadre d'un scénario de développement agricole durable pour résoudre ce problème.

1.3.2 Principales questions de recherche

Face à la contrainte majeure de dégradation du capital sol, cette recherche a pour objectif général de contribuer à la mise en place de systèmes de production agricole durable dans le Cercle de Koutiala. Cet objectif ne pourrait être atteint sans que de changements profonds ne soient adopter aussi bien dans les pratiques des ménages-paysans, que dans leur environnement socio-économique ; d'où toute la complexité du problème qui suggère quelques questions de recherche :

- Quel scénario de base faut-il formuler pour un développement agricole durable au niveau régional?
- En partant du constat que les systèmes de production actuels pratiqués par les ménages-paysans sont non-durables (épuisement des sols) : Quel niveau de durabilité est-il possible de pratiquer à moyen terme et long terme au niveau ménage-paysan?
- Quelles mesures politiques faut-il prendre pour inciter les paysans à adopter les options techniques alternatives durables?

Face à cette complexité du problème, pour répondre à ces différentes questions, la méthodologie de recherche qui sera utilisée pour aborder ces questions sera basée sur l'approche systémique³ qui consiste à analyser les systèmes de production avec la composante environnement. Cette approche permet en effet d'intégrer les données agro-écologiques et les données socio-économiques pour mieux orienter la gestion des ressources naturelles. L'instrument utilisée pour faire les analyses est la modélisation technico-économique. L'utilisation de la technique de modélisation PLBM pour des analyses d'optimisation au niveau du Cercle, doit donc permettre d'une part le choix de la combinaison optimale d'options techniques durables et d'autre part, élaborer une stratégie de gestion durable des ressources naturelles.

1.3.3 Objectifs de recherche

Les objectifs spécifiques de cette recherche sont :

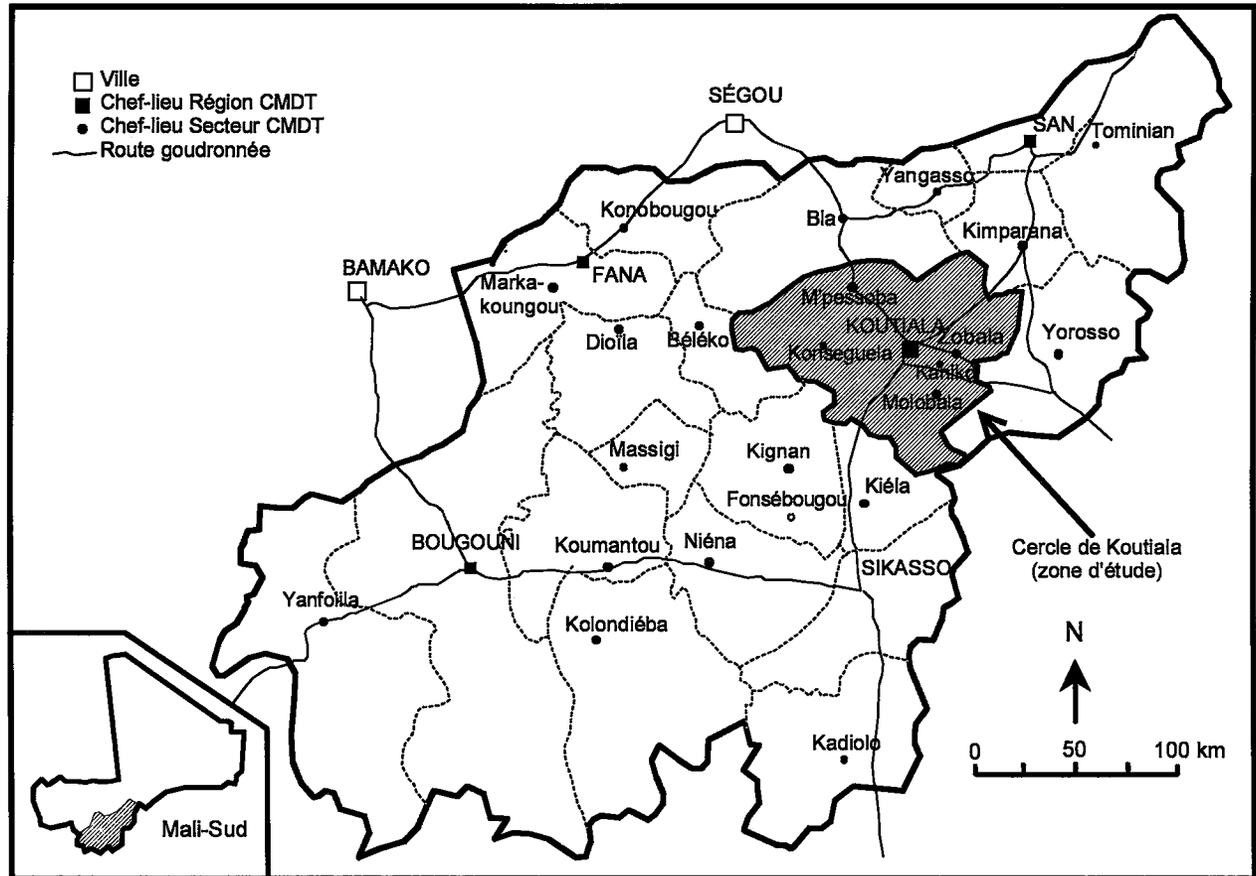
1. Définir des options techniques agricoles durables avec différents niveaux de durabilité,
2. Définir et analyser un scénario de base de développement agricole durable,
3. Explorer les potentialités et possibilités futures d'utilisation des terres dans le cadre de cette stratégie pour une gestion optimale des ressources naturelles de la région d'étude,
4. Analyser la situation actuelle des systèmes de production par types de ménages-paysans,
5. Comparer la situation actuelle avec les résultats d'analyse du scénario de base et en mesurer les écarts en terme de durabilité et de gestion des ressources,
6. Formuler les mesures politiques à prendre pour favoriser l'adoption des options durables par les paysans.

1.3.4 Organisation de la recherche

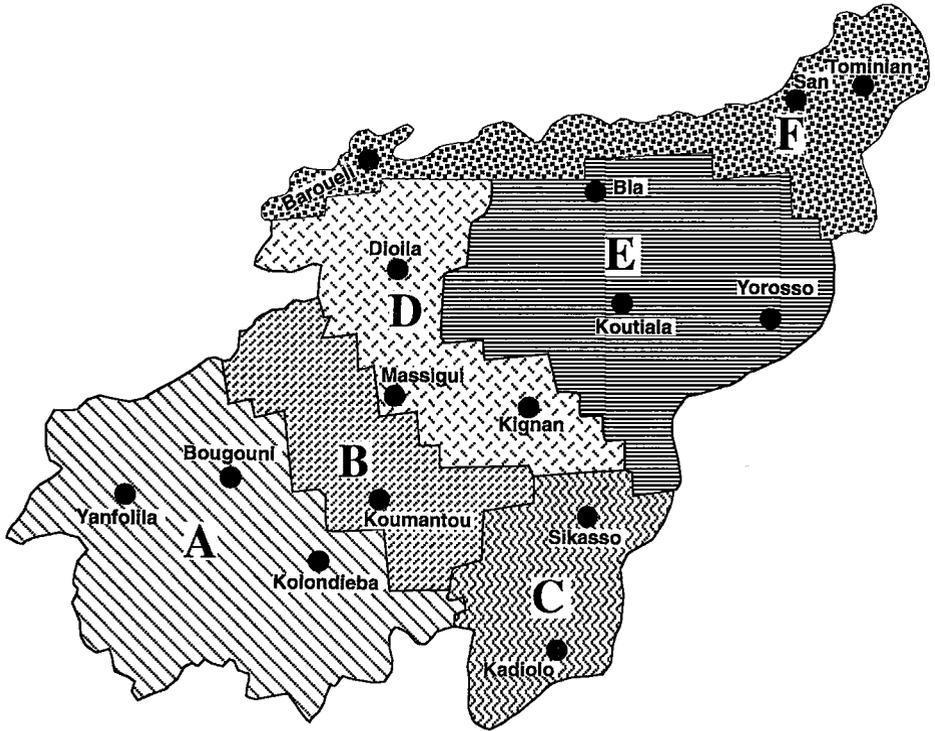
Pour aborder ces questions de recherche, c'est l'approche systémique qui sera adoptée en utilisant deux types de modèles : le modèle régional (PLBM) et le modèle ménage-paysan (MMP). Le modèle régional sera utilisé pour analyser les perspectives de la pratique d'une agriculture durable dans cette zone, et le modèle ménage-paysan sera utilisé pour analyser la situation actuelle de l'agriculture, c'est-à-dire les systèmes de production non durables au niveau des trois principaux types de ménages-paysans dans le Cercle de Koutiala. Le modèle ménage-paysan sera aussi utilisé pour analyser les effets des mesures politiques incitatives à formuler pour favoriser le changement de comportement des paysans vis-à-vis de la pratique des options techniques alternatives durables. Les différents chapitres qui composent ce document sont les suivants : Les concepts théoriques de base de la production agricole, les instruments de politiques agricole et leurs effets sur le compor-

³ Dans le chapitre III, l'approche de recherche et les instruments utilisés sont décrits en détails

tement des ménages-paysans, sont abordés dans le *Chapitre 2*. L'approche générale de recherche, la structure des deux types de modèle ainsi que leurs possibilités et limites sont décrits au *Chapitre 3*. La description des ressources et de la situation socio-économique de la zone d'étude et l'analyse des perspectives de la pratique d'une agriculture durable dans le Cercle de Koutiala sont abordées au *Chapitre 4*. L'analyse de la situation actuelle de l'agriculture par type de ménage-paysan, et la comparaison avec les résultats du scénario de base de développement agricole durable (SPI) sont faites au *Chapitre 5*. Les mesures politiques à prendre pour inciter les paysans à pratiquer au plus des options alternatives durables sont analysés au *Chapitre 6*.



Carte 1.3. La zone Mali-sud et Cercle de Koutiala.

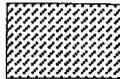


LEGENDE:

ZONE A
Zones vides
du Sud



ZONE B
Frange de mise
en valeur du Sud



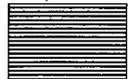
ZONE C
Espaces hétérogènes
de Sikasso



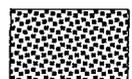
ZONE D
Auréole d'extension
du bassin cotonnier



ZONE E
Bassin cotonnier



ZONE F
Frange Nord



Carte 1.4. Situation de la gestion des ressources naturelles en zone CMDT/Mali-Sud : découpage en zones homogènes et caractéristiques des différentes zones (Source : Projet Gestion des Terroirs, CMDT-Koutiala, 1995).

2 La politique agricole : Etat, paysans et terres

2.1 Introduction

Tout processus de développement au niveau d'un pays implique une large amélioration de la qualité de la vie et du bien-être pour l'ensemble des populations. Le contenu du mot développement dépend aussi dans une certaine mesure des objectifs socio-économiques visés. En d'autres termes, le développement est une valeur mondiale impliquant un changement désirable. Il peut être considéré à ce titre comme un vecteur d'objectifs désirables qui constitue une liste d'attributs auxquels toute société aspire acquérir et maximiser⁴. Les éléments de ce vecteur développement économique (Pearce *et al.*, 1990) doivent inclure :

- la hausse du revenu per capita,
- la distribution équitable des revenus,
- la sécurité alimentaire et l'amélioration des statuts sanitaires et nutritionnels,
- l'assurance de l'éducation,
- l'accès aux ressources,
- l'accroissement des libertés fondamentales,
- l'amélioration qualitative du bien-être de l'ensemble des populations.

Dans les pays de l'Afrique subsaharienne, l'agriculture doit jouer un très grand rôle dans le processus de développement économique, compte tenu de l'importance du secteur agricole dans l'économie nationale de ces pays (Chapitre 1, Section 1.1). Car le développement agricole permet d'atteindre directement ou indirectement la plupart des multiples objectifs socio-économiques ci-dessus cités, à cause de l'importance du secteur agricole dans les économies nationales (Chapitre 1, Sous-section 1.1). Cependant la **performance et la durabilité** du développement agricole dépend elle aussi de plusieurs autres facteurs, notamment la gestion des ressources de base et les conditions économiques. Dans ce sujet de recherche, le scénario d'un développement agricole durable sera formulé et analysé au niveau du Cercle de Koutiala (Chapitre 4) comme alternative aux systèmes actuels non-durables. Les objectifs de développement⁵ seront centrés sur la sécurité alimentaire et la hausse des revenus.

Dans ce chapitre (*Section 2.2*) les indicateurs de performance de l'agriculture qui permettent d'apprécier et d'orienter la politique agricole, sont tout d'abord analysés. Les interactions (ou trade-offs) qui peuvent exister entre ces indicateurs sont aussi analysés. L'analyse de la liaison production agricole et environnement (*Section 2.3*) montre l'importance des ressources naturelles dans le développement agricole, ainsi que l'impact négatif de la dégradation des terres sur la production agricole en Afrique subsaharienne. Ceci démontrera l'importance de la lutte contre la dégradation des ressources naturelles comme condition nécessaire pour réaliser un développement agricole durable. Les types d'instruments de politiques macro-économiques à mettre en œuvre au niveau national pour lutter contre la dégradation des ressources naturelles sont aussi décrits (*Section 2.4*).

⁴ Il est important de souligner que dans ce processus de maximisation, il peut y avoir compétitions entre différents secteurs économiques et entre les différents éléments d'un même secteur, en ce qui concerne notamment l'utilisation des ressources et des moyens de production.

⁵ Le Choix des objectifs de développement dans le cadre du scénario prospectif, seront abordés au Chapitre 4, Sous-section 4.3.1

Notamment les instruments de politique agricole pouvant influencer les comportements des ménages-paysans pour améliorer leur bien-être et avoir une meilleure allocation des ressources. La planification de l'utilisation des terres est analysé (*Section 2.5*), vue son importance comme instrument de politique agricole. Les objectifs et les instruments de la planification de l'utilisation des terres à différentes échelles sont ensuite spécifiés en insistant sur l'influence de la complexité des agro-écosystèmes. A ce niveau l'utilité de la modélisation à base de programmation linéaire à buts multiples, comme instrument de planification de l'utilisation des terres est abordée. La théorie, les concepts de base, la démarche méthodologique de l'analyse des réactions des ménages-paysans aux instruments de politiques sont aussi abordés (*Section 2.6*).

2.2 Indicateurs de performance du secteur agricole

La productivité constitue l'un des principaux indicateurs utilisés pour mesurer la performance de l'agriculture. D'autres indicateurs tels que la stabilité de la production et son équitabilité (c'est-à-dire la manière dans laquelle elle est partagée) ainsi que l'efficacité, sont aussi utilisés. En plus de ces quatre indicateurs traditionnellement admis depuis bien longtemps dans la théorie économique, l'accent est de plus en plus mis sur la durabilité comme indicateur de performance de l'agriculture pour le moyen et long terme.

Productivité

La productivité est définie comme la quantité d'extrait ou sa valeur obtenue par unité d'intrant utilisée. Elle peut être mesurée en relation avec trois types de ressources : c'est-à-dire la productivité de la terre, la productivité du travail et la productivité du capital (productivité économique). Les paramètres de mesure de la productivité qui sont considérés dans les différentes analyses effectuées dans le cadre de scénarios de développement (Chapitres 4, 5 et 6) sont :

- le rendement des cultures (kg ha⁻¹),
- la productivité du bétail (kg de lait et de viande produite par UBT),
- le revenu par hectare,
- le revenu par habitant,
- et le revenu par actif ou par homme-jour travaillé.

La productivité peut être élevée ou basse en fonction des conditions de production. Une augmentation de la productivité et de la production agricole, constitue l'un des premiers signes de la croissance économique qui est nécessaire pour :

- faire face à la demande croissante d'une population en expansion,
- augmenter les exportations et réduire la dépendance vis à vis des importations,
- créer des emplois et des revenus pour la population rurale
- faire face à la demande de matières premières pour d'autres secteurs,
- générer plus de revenus pour investir en même temps dans les secteurs rural et urbain.

Parmi tous ces points, le besoin d'augmenter, la disponibilité alimentaire pour une population croissante est souvent la principale priorité d'un Gouvernement.

Efficienc

L'efficienc peut être définie au niveau technique aussi bien qu'économique. *L'efficienc technique* est définie par rapport à l'efficacité d'utilisation des intrants tels que la main-d'œuvre ou les fertilisants. L'utilisation d'un intrant donné est dite efficiente lorsqu'on qu'une augmentation de la quantité utilisée entraîne une augmentation de la productivité agricole (ou rendement). L'utilisation d'un intrant donnée devient techniquement inefficente lorsque la productivité reste constante ou baisse avec une augmentation de la quantité utilisée. *L'efficienc économique* correspond au seuil de rentabilité de l'utilisation d'un intrant donné, c'est-à-dire le niveau à partir duquel l'utilisation d'un intrant donné n'est plus rentable.

Stabilité

La stabilité est définie comme l'uniformité de la productivité en face des perturbations intervenant sous l'influence des fluctuations dans l'environnement physique, biologique, social ou économique. Il s'agit par exemple des fluctuations au niveau du climat ou au niveau de la demande des produits agricoles sur les marchés. Les séries pluriannuelles de mesures de la productivité agricole peuvent permettre d'établir son niveau de stabilité dans le temps. Si la productivité évolue de manière constante dans le temps, sa stabilité est jugée élevée. Par contre s'il y a des fluctuations importantes d'une année à l'autre, la stabilité est dite basse.

Equitabilité

L'équitabilité correspond au niveau d'égalité de distribution de la productivité du système de production agricole entre les différents bénéficiaires, c'est-à-dire le niveau d'équité qu'il génère. Elle se mesure à travers la distribution de la production totale de biens et services, ou de revenu net. Les bénéficiaires peuvent être les membres d'un ménage paysan, ou les habitants d'un village, d'une région donnée ou d'un pays entier. L'équitabilité peut être mesurée par la courbe de Lorenz, le coefficient de Gini ou d'autres types de coefficients. Moorthy (1992) dans ses analyses sur la théorie du développement économique et la distribution des revenus, a montré à l'aide de la courbe de Lorenz, une disparité des niveaux de revenus entre ménages urbains et ménages ruraux. Au niveau national, l'un des principaux objectifs du gouvernement, est d'acquérir une distribution aussi équitable que possible des bénéfices des activités de production entre les différents acteurs du processus de développement, afin de diminuer les inégalités. Cependant la manière dont ces bénéfices seront repartis est souvent déterminée et imposée par les conditions de marché du travail et de la consommation.

Durabilité

La définition de la durabilité sera abordée sous différents angles selon l'échelle considérée qui va du niveau mondial, au niveau système de production et option technique.

La dimension mondiale du développement durable

Dans un cadre plus général, plusieurs définitions ont été données par différents auteurs dans le contexte de la communauté internationale :

1. la définition communément adoptée est celle donnée par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture : « à savoir qu'un développement durable dans les secteurs de l'agriculture, des forêts, et des pêches, conserve les ressources en terres, les ressources en eau, ainsi que les ressources génétiques végétales et animales. Un tel développement n'est pas préjudiciable pour l'environnement et enfin doit s'avérer techniquement adapté, économiquement viable et acceptable pour la société » (FAO, 1992).
2. Une autre définition de la notion de durabilité (Benoit-Cattin & De Grandi, 1994) est celle donnée par le rapport « Our Common Future » de la Conférence mondiale sur l'environnement et le développement tenue à Rio en 1992, selon lequel : « un développement durable satisfait les besoins de la génération présente sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs ». Selon cette définition, il est certes permis d'utiliser les ressources pour le bien de la génération actuelle, mais on ne saurait se contenter de les exploiter et de les épuiser. Il faut bien préserver leurs potentialités.

Dans le concept du développement durable définie à l'échelle mondiale, à la conférence internationale de Rio sur l'environnement et le développement ; il y a trois éléments clés qui ont été définis : la dimension économique, la dimension écologique et la dimension sociale (Figure 2.1; Burger, 1998). Le développement durable signifie donc équilibre entre les aspects environnementaux, sociaux et économiques ainsi qu'entre les intérêts actuels et futurs.

Dans le contexte de l'Afrique subsaharienne, en se référant à ces différentes définitions, un développement durable signifierait donc améliorer les conditions de vie actuelles des populations, tout en préservant la qualité et la productivité des principales ressources productives pour le moyen et le long terme. A travers toutes ces définitions on peut noter que l'un des éléments essentiels du développement durable est la volonté de préparer l'avenir, en tenant compte du passé ainsi que de l'environnement économique et écologique (Figure 2.2).

Cependant dans cette définition générale de la durabilité, la composante sociale et foncière est aussi un élément important qui permet de tenir en compte les perceptions des paysans en tant que gestionnaires directs des terres. En effet, selon Magassa & Coulibaly (1994) : « le paysan demeure très attaché à sa terre qui, plus qu'une ressource naturelle, est tout un symbole, un culte qui renvoie à son identité dans le temps et dans l'espace. L'enjeu foncier est bien la clé de ce mystère où la figure du paysan est à l'image du terroir dont il porte généralement le nom. Ainsi la terre se mue en nom de famille, en une institution, que le porteur aura la charge de transmettre sous forme d'héritage, d'habitudes de pensées, de comportements humains et de croyances ancrées dans sa personnalité. C'est donc à partir de ces données de base, souvent immatérielles que le développement devrait se construire pour pouvoir durer ». Cela signifie que l'évolution vers un développement durable ne peut se faire sans la participation réelle des paysans. Toute politique orientée vers la promotion de ce développement durable doit donc prendre en compte les comportements des paysans ; pour pouvoir les inciter à pratiquer les nouvelles options techniques durables comme alternatives aux pratiques actuelles non durables.

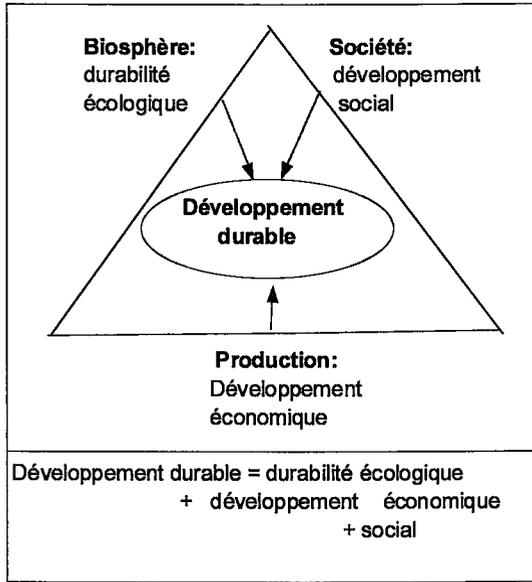


Figure 2.1. Les trois dimensions du développement durable (Burger, 1998).

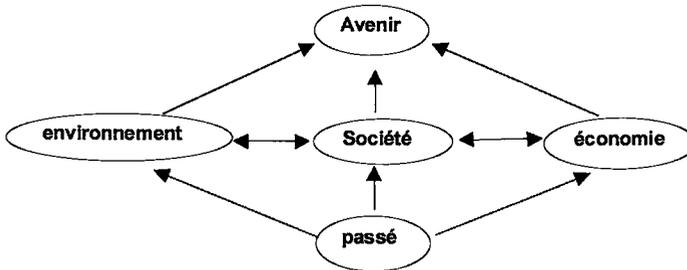


Figure 2.2. La préparation de l'avenir comme élément essentiel du développement durable (Source : Burger, 1998).

Le développement agricole durable

Dans ce sujet de recherche, c'est la question clé d'un *développement agricole durable*, qui sera surtout abordée à travers l'application du concept de développement durable au contexte de l'agriculture. D'où la nécessité de définir le concept de durabilité aux niveaux système de production et option technique.

- **Système de production durable** : à l'échelle d'un système de production, la durabilité peut être définie comme l'abilité du système à maintenir le niveau de productivité malgré l'apparition brutale de larges troubles telles que le stress répété ou une perturbation majeure (Kepas, 1983). *La durabilité signifie donc dans un tel cas, le maintien de la productivité à court, moyen et long terme en face des perturbations qui peuvent subvenir dans le processus de production.* Ceci revient en un mot à définir la durabilité comme forces permettant de maintenir le niveau de productivité constant. Dans ce sujet de recherche, le concept de système de production durable⁶ a été défini principalement sur la base du maintien du potentiel productif des sols à travers l'utilisation d'intrants externes, ainsi que l'intensification et l'intégration agriculture-élevage. Pour atteindre l'objectif de durabilité d'un système de production, l'utilisation de technologies nouvelles s'impose pour lutter contre les effets néfastes des perturbations sur la production. Il s'agit par exemple pour les contraintes de maladie de technologies nouvelles de lutte contre les maladies. Dans le cas de contraintes d'épuisement des sols ; il s'agit de concevoir et d'introduire au niveau ménage-paysan de nouvelles options techniques alternatives durables pour lutter contre la pauvreté et l'épuisement des terres.
- **Option technique durable** : dans le cas spécifique d'une option technique de culture, la durabilité peut être mesurée à travers le degré de dommage que sa pratique causerait à la ressource de base qu'est le sol. Dans ce cas précis, la définition, adoptée plus loin dans les analyses (Chapitre 4) est qu'*une option technique est durable lorsqu'elle a un niveau d'intensité permettant de garder le bilan des éléments nutritifs équilibré dans le sol après la production.* C'est-à-dire que le niveau d'intensité est tel que les nutriments prélevés dans le sol pour la production sont remplacés, ce qui permet d'assurer la production sans épuisement du sol. La condition exigée étant que le besoin des fertilisants pour la production est inférieur ou égal à leur disponibilité.⁷

2.3 Trade-offs⁸ entre les différents indicateurs

Ces indicateurs clés ainsi définis ont une importance majeure dans l'évaluation de la performance du secteur agricole, ainsi que dans l'orientation de la formulation des instruments de politique agricole.

⁶ Les autres critères considérés pour définir le concept de système de production durable, sont décrits en détails au Chapitre 4 (Sous-section 4.5.1).

⁷ Si la disponibilité générée dans le système est insuffisante, elle est complétée par l'apport externe en fertilisants à travers l'application d'engrais (N, P, K). Dans un tel cas, le concept de durabilité a été fortement associé à celui de l'intensification. Pour plus de détails voir dans le Chapitre IV (section 4.3).

⁸ Le terme *trade-offs* sera fréquemment utilisé dans ce document. Il désigne l'interférence ou l'échange en termes de compromis entre paramètres ou variables économiques. Ici par exemple, *trade-offs* entre indicateurs, signifie que leurs valeurs s'influenceront mutuellement jusqu'au niveau de compromis possible.

Il apparaît cependant des trade-offs entre ces différents indicateurs aux niveaux des décisions quotidiennes des ménages-paysans, ainsi qu'aux niveaux des prises de décision concernant la détermination des stratégies et politiques nationales de développement agricole. Le cas qui est le plus à souligner est le « *trade-off* » qui peut exister entre les deux objectifs fondamentaux visés dans tout développement économique, à savoir : *l'efficacité économique* et une *bonne gestion environnementale*. Cela revient à analyser la compatibilité entre efficacité économique et durabilité.

Efficacité économique et environnement : « Trade-off » et complémentarité

Les corrélations entre la durabilité écologique et le développement économique sont au centre d'une prise de conscience qui progresse de plus en plus depuis les années soixante. Le rapport du Club de Rome (Meadows, 1972) intitulé « *les limites de la croissance* », a montré que l'exploitation incontrôlée de l'environnement pouvait freiner la croissance économique, donc que le développement et l'environnement sont tributaires l'un de l'autre. Les types d'interactions pouvant exister entre efficacité économique et environnement seront abordés et analysés ici à travers la théorie économique de Pearce *et al.* (1990). Selon cette théorie illustrée sur la Figure 2.3 : l'efficacité économique est réalisée à travers différentes activités économiques qui utilisent une certaine quantité de ressources pour générer un capital économique considéré comme « *capital artificiel* ». Quant au niveau environnemental, l'ensemble des ressources naturelles disponibles constitue le « *capital naturel* ». La question fondamentale qui est posée est jusqu'à quel niveau ce capital de ressources naturelles peut être utilisé au profit de la génération du capital économique. Pour répondre à cette question, ces auteurs ont établi deux types de relations pouvant exister entre ces deux types de capitaux. C'est-à-dire : le capital économique (K_M) et le capital naturel (K_N), correspondant au potentiel de ressources naturelles disponibles.

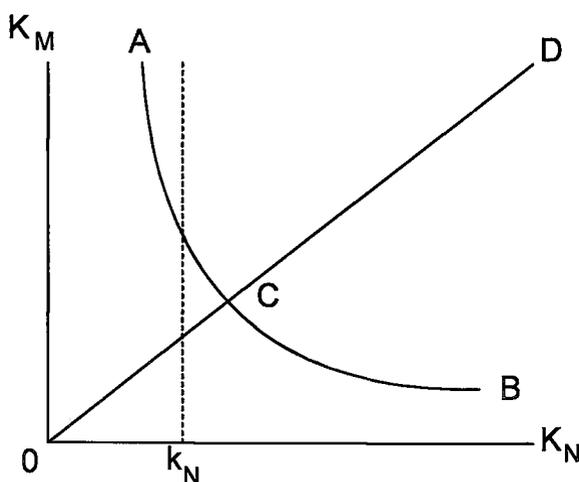


Figure 2.3. Environnement et développement économique : compromis et complémentarité
(Source : Pearce *et al.*, 1990).

Les types de relations pouvant exister entre ces deux types de capitaux, correspondent aux situations de compromis et de complémentarité, illustrées respectivement à travers la courbe ACB, et la ligne OCD :

- *La première situation* correspond à une relation de **compromis** (ou trade-off) entre génération de capital économique et utilisation des ressources naturelles, illustrée par la **courbe ACB**. Sur cette courbe au point A, un maximum de capital économique est généré, mais la disponibilité en capital naturel est très faible. Au point B, inversement il y a une très forte disponibilité en ressources naturelles mais très peu de capital économique a été généré. Le compromis se trouverait donc entre les points A et B, par exemple au point C, où on réalise une certaine quantité de capital économique avec toujours un stock de capital naturel significatif.
- *Le deuxième type de relation* possible entre efficacité économique et environnement est la situation de **complémentarité**, illustrée sur la Figure 2.3 (Pearce *et al.*, 1990) par la **droite OCD** qui établit une linéarité entre les deux types de capitaux. Cette situation de complémentarité suppose que les deux types de capitaux sont mutuellement dépendants. Au sens que d'une part le stock naturel de ressources peut être utilisé pour générer du capital économique, et d'autre part le capital économique peut être aussi utilisé pour conserver ou augmenter le stock de capital naturel.

Dans la première situation, la relation de compromis (trade-off) suppose que l'environnement est sacrifié au profit du progrès économique. C'est-à-dire que le capital économique est réalisé sur la base de l'utilisation du stock de ressources naturelles. Par contre dans la deuxième situation possible, la relation de complémentarité est une situation idéale où il y a toujours une harmonie mutuelle entre environnement et développement économique. En réalité ces deux situations ne sont pas absolument réalisables, car s'il est difficile d'accepter que l'environnement doit être toujours sacrifié pour réaliser le développement économique, il est aussi difficile de voir le développement et l'environnement comme étant toujours en harmonie mutuelle. Ainsi, il est plus probable que les deux situations soient observées dans des contextes différents ; c'est-à-dire que l'hypothèse de recherche de compromis (trade-off) entre développement économique et conservation des ressources, est valable pour la situation des pays en voie de développement, et celle de complémentarité pour des pays à un stade de développement avancé. En tous cas, l'argument d'efficacité économique ne doit pas favoriser la réalisation de gain économique au profit d'un épuisement des ressources naturelles. Car il est important de signaler qu'il y a un stock minimum de ressources naturelles en dessous duquel une réduction du capital naturel menacerait inacceptablement les moyens d'existence des populations. Sur la Figure 2.3 cette sécurité minimum standard est illustrée par la ligne k_N .

2.4 Production agricole et environnement

2.4.1 Ressources de base de la production agricole

Dans la plupart des pays en voie de développement, l'agriculture constitue la principale activité, car elle occupe une large frange de la population et contribue de manière importante dans le produit national brut (PNB). Au Mali, le secteur rural occupe près de 80% de la population économiquement active et contribue à environ 50% du Produit Intérieur Brut (PIB).

Dans le « trade-off » établi entre environnement et croissance économique, l'agriculture est certainement l'activité économique la plus concernée, puisqu'elle utilise une grande part des ressources

naturelles, notamment les terres. En effet, le succès de l'agriculture dépend de l'exploitation des ressources naturelles, du capital, et de l'utilisation de la compétence de la main-d'œuvre humaine. Les produits agricoles et les biens et services non-agricoles, aident ensuite à sécuriser en même temps les économies nationales et les besoins de subsistance des ménages individuelles ((Figure 2.4, Conway & Barbier, 1990).

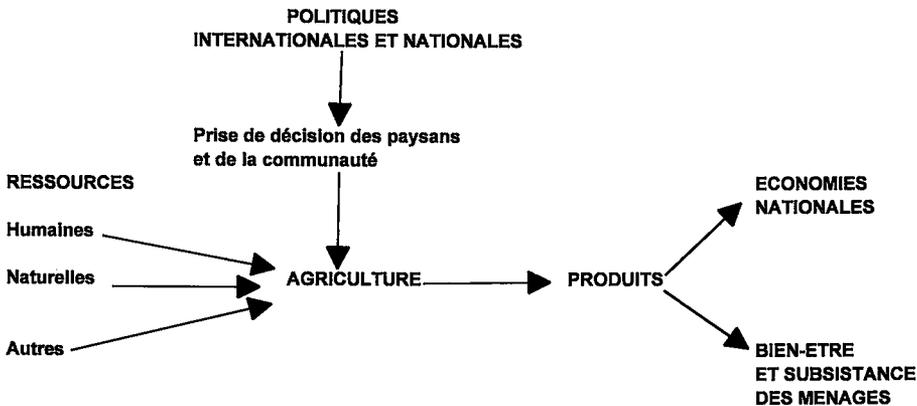


Figure 2.4. Les éléments⁹ de base du système global de production agricole (Source : Conway & Barbier, 1990).

L'agriculture utilise deux types de ressources : les ressources renouvelables et les ressources non-renouvelables. L'analyse de la problématique de l'utilisation des ressources naturelles de base en agriculture se pose dans la perspective d'une agriculture durable. En effet, la question fondamentale qu'on doit se poser est qu'elle proportion des ressources non-renouvelables doit-on allouer à la production agricole courante, en comparaison avec un probable besoin croissant pour le futur? Pour répondre à cette question, une bonne estimation doit être faite concernant une probable croissance démographique avec sa demande de nourriture correspondante pour le moyen terme (10-15 ans), long terme (50 ans) et même très long terme (100 ans). Ceci correspond en d'autres termes à une nécessaire prospection du futur en matière de production agricole, qui constitue un atout pour mieux orienter la gestion des ressources naturelles de base.

2.4.2 Dégradation des ressources naturelles en Afrique subsaharienne : l'ampleur du problème

La dégradation de l'environnement prend à l'heure actuelle des proportions tel qu'elle viendra compromettre la croissance et le développement économique à long terme si des politiques ne sont pas menées pour renverser la tendance. En effet, la dégradation de l'environnement persisterait

⁹ Cette figure a été volontairement simplifiée afin de montrer de manière schématique le processus général à la base du système global de production agricole. Il y a certainement des détails qui manquent quant aux feed-back entre les différents éléments ici présentés.

toujours aussi longtemps que les gains immédiats provenant des activités causant la dégradation des ressources seront plus grands que les bénéfiques tirés de leur préservation (Pearce *et al.*, 1990). Donc, les conditions d'un développement durable suggéreraient que des efforts soient faits pour le maintien d'un capital en ressources naturelles constant. C'est-à-dire qu'il n'y ait pas de diminution du stock de ressources naturelles. La qualité de l'environnement ne doit donc pas se dégrader, mais s'améliorer d'avantage. Par rapport à cette définition du développement durable, basée sur le maintien de la qualité de l'environnement et un capital constant en ressources naturelles, il y a donc la nécessité d'investiguer tout d'abord l'existence d'un capital en ressources naturelles et les conditions de son maintien. En ce qui concerne le potentiel en ressources renouvelables : en plus de l'énergie solaire qui est considérée comme inépuisable, la plupart des ressources naturelles dont dépend l'agriculture sont potentiellement renouvelables. Parmi elles, il y a : le sols et ses éléments nutritifs, l'eau, dérivée directement ou indirectement de la pluie, la diversité de la faune, et une grande variété de potentiels écologiques (flore).

En Afrique subsaharienne, la destruction des ressources varie selon les pays, mais d'une manière générale, les sols sont en train de s'éroder, leur fertilité baisse considérablement, le bois de chauffe s'épuise. Cette zone qui concerne principalement les pays situés au sud immédiat du Sahara (Mali, Sénégal, Niger, Tchad, Burkina Faso, Mauritanie) est caractérisée par une grande diversité agro-écologique et une grande variabilité dans la densité d'occupation des terres. Les sols sont fragiles et chimiquement pauvres pour la plupart, avec un taux de matière organique assez bas, particulièrement dans les zones semi-arides. Selon Pieri (1989), les systèmes agricoles traditionnels, dont la durabilité était assurée par de longues périodes de jachères, ne permettent plus, sous la pression démographique croissante, d'assurer une gestion durable des ressources naturelles. Ce qui conduit à une spirale de dégradation touchant les différentes composantes de l'environnement physique, animal et humain.

Selon des diagnostics récents de l'ampleur de la dégradation des terres en Afrique subsaharienne (Oldeman *et al.*, 1991 ; Crosson & Anderson, 1995), on estime qu'au cours des trente dernières années, près de 320 millions d'hectares de terres ont été touchées par différentes formes de dégradation, dont 34% sont modérément à fortement touchés par l'érosion hydrique et 23% par l'érosion éolienne (selon la FAO et l'UNEP cités dans Pieri *et al.*, 1998). Grossièrement, on estime à 40% des terres arables et 21% des pâturages qui ont été affectés par la dégradation induite par l'homme (Oldeman *et al.*, 1991). L'ampleur des risques d'érosion et de dégradation en Afrique exposée sur la Carte 2.1 est plus accentuée en Afrique subsaharienne où il y a une importante zone sensible avec un risque d'érosion et de dégradation de 1000 à 2000 t km⁻² an⁻¹ (Beets, 1990).

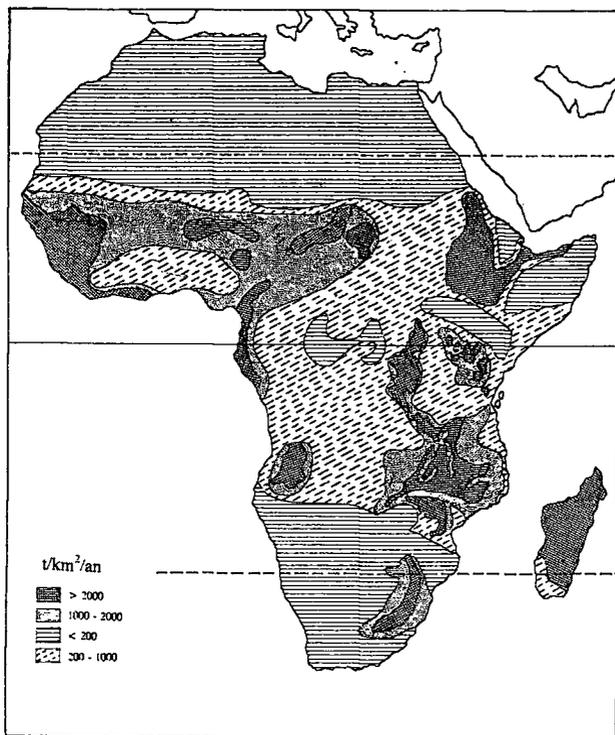
En Afrique subsaharienne, les causes directes de dégradation des ressources naturelles (terres notamment) sont liées à l'inadaptation actuelle des systèmes d'exploitation de l'espace, et en particulier (selon Oldeman *et al.*, 1991) aux techniques de cultures sans restitutions minérales et/ou organiques suffisantes (24% des terres cultivées), au surpâturage (49% des parcours) et à la surexploitation des ressources ligneuses¹⁰ (27% des surfaces boisées).

La pression démographique demeure aussi l'une des causes principales de la dégradation des ressources naturelles. Dans les pays de l'Afrique subsaharienne, la population a augmenté de 2.9% par an entre 1961 et 1983, comparativement à la production qui n'a augmenté que de 1.7% au cours de la même période (Mellor 1988). L'une des causes principales de la dégradation, est aussi souvent

¹⁰ Cette exploitation abusive est liée à la place importante qu'occupe le bois de chauffe comme source d'énergie et comme matériel de service et de construction. Pour renverser la tendance et limiter l'exploitation du bois de chauffe, des efforts importants et continus doivent être fournis à court et moyen terme pour développer la sylviculture et l'agroforesterie et à long terme pour trouver des alternatives de sources d'énergie, autres que le bois.

attribuée à l'élevage, notamment l'effet des sociétés pastorales (de Wit *et al.*, 1995), qui entraîne le surpâturage ; mais des doutes sont émis quand au rôle de l'élevage dans la dégradation irréversible des terres (Behnke & Scoones, 1992). Dans beaucoup de cas, l'épuisement des éléments nutritifs du sol

constitue la forme de dégradation majeure. Il est projeté par exemple que le déficit annuel en Afrique subsaharienne en l'an 2000, serait en moyenne de 26 kg de N, 7.5 kg de P₂O₅ ; et 18 kg de K₂O par hectare (Stoorvogel & Smaling, 1990).



Carte 2.1. Niveaux d'érosion et risque de dégradation des sols en Afrique (Source : Beets, 1990).

De telles conditions de *sur-dégradation*¹¹ ont de graves conséquences sur le niveau de production agricole et la disponibilité en terres arables. Selon certains constats, la production agricole ne s'est accrue en Afrique subsaharienne que de 1.6% de 1965 à 1980 et seulement de 1.3% dans les années 1980 (Pieri *et al.*, 1998). Les dernières estimations font valoir qu'en moyenne la dégradation des terres en Afrique au sud du Sahara, aurait provoqué une baisse substantielle de la productivité : de 7% en zones irriguées, 14% en zones de cultures pluviales et 45% dans les zones de parcours

¹¹ le mot sur-dégradation tant à mettre l'accent non seulement sur le caractère intensif du phénomène met surtout le caractère irréversible avec pour conséquence l'irrécupérabilité de la plupart des terres à long terme, s'il n'y a aucune action de correction.

(Crosson & Anderson, 1995). Quand à la disponibilité en terres, la rareté en terres arables s'est accrue à cause du phénomène de dégradation. Il est ainsi projeté que la disponibilité en terres arables doit baisser de 0.28 ha per capita (sa valeur actuelle) à 0.17 ha en 2025 (WRI, 1990) et à 0.15 ha en 2050 selon la FAO (1991). La baisse de la disponibilité en terres arables par habitant est un problème majeur face à la durabilité de l'agriculture, car l'extension des surfaces cultivées se fera sur des terres marginales qui ont une faible capacité de production et qui sont vulnérables à la dégradation. Il y a donc une urgence quand à la formulation d'instruments de politique pour lutter contre la dégradation des ressources en terres, qui est l'une des contraintes majeures au développement agricole dans les pays de l'Afrique subsaharienne.

Au Mali, l'analyse pluriannuelle des tendances de dégradation de la fertilité des terres (Kieft *et al.*, 1994) montre que l'érosion et le déficit en matière organique des sols sont les principales causes de dégradation des sols. La dégradation biologique et physique des terres est passée de 4% des sols nus en 1952 à 26% en 1975. La dégradation chimique atteint aussi une proportion importante des terres irriguées à cause du phénomène de salinisation observée principalement en zone Office du Niger. *Pour la zone Mali-sud*, les pertes en éléments nutritifs de certains systèmes de cultures avaient été estimées comme une partie importante de la marge brute des cultures dans ces systèmes (van der Pol, 1992). Ce qui implique qu'une proportion importante des revenus des ménages-paysans est générée à travers l'épuisement des terres.

2.5 Instruments de politique agricole

Les données de la sous-section précédente (2.4.2) révèlent assez suffisamment que dans les pays de l'Afrique subsaharienne tel que le Mali, la dégradation des ressources de base est le problème environnemental majeur (van Keulen & Breman, 1990). Ce qui a pour conséquence une baisse de la productivité et de la production agricole. Une telle situation exige que des instruments de politiques soient formulés en vue de lever les contraintes de fertilité des terres ainsi que toutes les contraintes de développement agricole. Selon Pieri *et al.* (1998) : « *la solution des problèmes de sécurité alimentaire, de réduction de la pauvreté et de protection environnementale dans les pays de l'Afrique au sud du Sahara, passe par l'élaboration de plans nationaux d'investissement pour la reconstruction et le maintien durable du capital de fertilité des terres* ». Dans ces plans nationaux, des politiques d'incitation doivent être formulées à l'endroit des paysans qui sont et demeurent les acteurs clés de la politique de développement agricole. Ils constituent à ce titre les garants du succès des objectifs politiques de croissance économique et de conservation des ressources naturelles.

La formulation des politiques de développement au niveau régional et national, doit se faire sur la base de l'identification préalable d'une série de contraintes et d'objectifs clairement définis. Plusieurs objectifs politiques se réfèrent tout d'abord au niveau d'intégrité politique et économique de l'état lui-même, en rapport avec l'objectif de mobiliser un support populaire pour la re-élection de ses « *leaders* ». Par conséquent, le revenu et les objectifs de croissance à court terme ont tendance à attirer plus d'attention que le critère de durabilité à long terme. L'équilibre entre les orientations politiques vers le milieu rural et le milieu urbain doit être établi. Il dépend de la politique de base du régime en place. Sur un autre plan, l'envergure de la formulation d'une politique de développement économique est aussi limitée par la disponibilité de fonds publiques pour les investissements à faire et la balance des paiements des produits importés. La formulation des options politiques doit permettre ainsi d'inciter les paysans à adopter de nouvelles pratiques d'intensification pour accroître la productivité d'une part et arrêter la dégradation des ressources naturelles d'autre part. Les

instruments de politiques ayant une incidence sur les comportements des ménages-paysans doivent donc être formulés et analysés en vue de mieux percevoir l'incidence de ces instruments sur les réactions des ménages-paysans en matière de gestion des ressources et de production agricole.

La politique agricole est définie comme un ensemble de mesures politiques (prix, investissements, progrès technique, structures de production/transformation, des échanges et de la consommation) prises dans le cadre d'un schémas global de développement (Griffon, 1987). Ces différentes mesures se situent dans le cadre de la régulation de la politique macro-économique à court terme. Cette définition fait apparaître l'Etat comme étant le décideur principal d'une politique agricole, mais il n'est lui même qu'un des éléments du système économique global (il prélève, redistribue, quelquefois il produit, ...). Les autres agents économiques, en particulier les producteurs, jouent aussi un rôle déterminant dans la réussite d'une politique agricole. Dans la problématique du développement agricole, aucun changement véritable ne pourrait être réalisé dans la gestion des terres sans la contribution des ménages-paysans qui sont les utilisateurs directs des terres et donc les principaux acteurs du développement agricole. Il est donc nécessaire de déterminer les instruments adéquats de politique agricole qui peuvent influencer les ménages-paysans dans leurs pratiques d'utilisation des terres pour qu'ils soient en mesure de pratiquer de nouvelles techniques de production et de conservation des ressources permettant d'accroître la production agricole et la durabilité des systèmes actuels de production¹². Une liste générale des instruments de politique agricole (Traoré, 1978) est présentée au Tableau 2.1, selon les types de contraintes. La plupart de ces différentes politiques énumérées seront abordées dans le Chapitre 6 sur les mesures politiques à prendre pour stimuler un développement agricole durable. Ceci permettra aux ménages-paysans de passer de la situation actuelle non-durable vers la situation durable désirée. Dans la Section 2.6 plus de détails seront donnés sur la planification de l'utilisation des terres qui est un élément important dans la politique agricole et la politique de lutte contre la dégradation des ressources naturelles. Dans la Section 2.7, l'impact de la politique agricole sur les comportements des ménages paysans sera abordé.

¹² Dans le Chapitre 4, les analyses avec le modèle de programmation linéaire à buts multiples (PLBM) concerneront le choix d'options techniques intensives durables ayant un bilan des éléments nutritifs équilibré. L'adoption de telles options techniques (intensives et durables) par les ménages-paysans permettra d'une part d'augmenter la productivité et la production agricole et d'éviter l'épuisement des terres. Les instruments politiques devant influencer le comportement des ménages-paysans pour l'adoption de ces nouvelles technologies seront analysés dans le chapitre VII.

Tableau 2.1. Instruments de politique agricole et de lutte contre la dégradation des ressources naturelles (source : adapté de Traoré, 1998)

Contraintes	Instruments de politique	Effets escomptés
Contraintes Socio-économiques	<p><i>Politiques de crédit et d'investissement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Incitation à l'investissement de capitaux privées • Amélioration des systèmes de crédit et d'épargne <p><i>Politiques de prix</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des systèmes de fixation des prix et de commercialisation des produits agricoles • Amélioration des systèmes d'approvisionnement en intrants <p><i>Politiques de valorisation des filières des principaux produits agricoles</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement des techniques de conservation et de transformation des produits agricoles • Formation, organisation et responsabilisation de tous les acteurs-intervenants des filières des produits agricoles. <p><i>Politiques d'amélioration des conditions de vie en milieu rural</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement des infrastructures de transport, de formation et de santé • Appui aux organisations paysannes (formation) et responsabilisation du monde rural 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la capacité d'investissement, et facilité d'acquisition des intrants agricoles - Amélioration du rapport de prix extrant/intrant et des niveaux de revenus des producteurs - Augmentation de l'efficacité et de la rentabilité des filières des produits agricoles - Augmentation du bien-être des producteurs ruraux, diminution de l'exode rural, meilleure connexion entre offre rurale et demande urbaine.
Contraintes Bio-climatiques et agro-techniques	<p><i>Politiques de promotion de l'intensification agricole</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bonification des terres • Création d'infrastructures hydro-agricoles (barrages, périmètres irrigués) • Développement des efforts de recherche et de vulgarisation sur les nouvelles technologies de production agricole : options techniques de production intensive, de restauration et conservation des sols, semences améliorées, techniques améliorées de protection des végétaux, techniques d'amélioration de la qualité et de la gestion des parcours • Amélioration de l'intégration agriculture-élevage 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la disponibilité en terres arables - Augmentation de la productivité et de la production agricole - Développement de systèmes de production durables
Contraintes Institutionnelles et législatives	<p><i>Politique foncière</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Planification de l'utilisation des terres à différentes échelles • Révision et adaptation des législations agro-foncières • Création des aires de protection des ressources naturelles (faune et flore) • Initiation de systèmes de taxation de l'utilisation des ressources naturelles <p><i>Politique de réforme institutionnelle</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reformes visant l'amélioration de l'efficacité des services de recherche- vulgarisation et des instances nationales de prise de décision <p><i>Politique d'investissement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des services et infrastructures publiques de transport, de santé et de formation • Création d'unités industrielles de transformation de produits agricoles • Créations des conditions favorables à la promotion du secteur privé et à l'investissement international 	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure adéquation entre objectifs de développement et utilisation qualitative et quantitative des terres - Eviter les conflits fonciers - Maîtrise et contrôle de la conservation des ressources naturelles - Accroissement de la qualité des résultats de recherche et de l'efficacité de leur transfert en milieu paysan - Augmentation de la qualité technique des plans de développement - Dynamiser le secteur agricole en favorisant la transformation et l'écoulement des produits agricoles - Création d'emplois

2.6 Politique agricole et allocation des ressources en terres

2.6.1 Planification de l'utilisation des terres à différentes échelles d'analyse

Le développement agricole durable est un processus qui est fortement associé aux systèmes d'utilisation des terres. La planification de l'utilisation des terres vise ainsi à instaurer une utilisation durable des terres (van Keulen, 1994). Cette utilisation durable des terres nécessite que les objectifs de développement soient bien définis et acceptés par les différents acteurs du développement (paysans, décideurs régionaux et nationaux) qui doivent tous être impliqués dans le processus de planification du développement. La planification de l'utilisation des terres peut partir d'un processus simple allant de l'organisation des activités dans une exploitation individuelle à un processus assez complexe de gestion des terres au niveau régional et national.

La planification de l'utilisation des terres peut être appliquée à plusieurs échelles (niveaux national, régional, terroir villageois, exploitation agricole). A chacune de ces échelles, la planification de l'utilisation des terres a des objectifs spécifiques :

1. **Au niveau national** : L'objectif principal est de planifier le développement économique d'un pays selon les potentialités et les spécificités des différentes régions. Les potentialités de chaque région peuvent être décrites au préalable afin de permettre aux décideurs nationaux d'entreprendre des actions de développement en fonction des potentialités régionales.
2. **Au niveau régional** : La planification de l'utilisation des terres a pour objectifs d'orienter le développement d'une région donnée en tenant compte d'une part de ces potentialités en ressources et d'autre part des objectifs nationaux, et des objectifs de développement spécifiques à la région.
3. **Au niveau terroir villageois** : la planification de l'utilisation des terres a des objectifs spécifiques centres sur l'amélioration des conditions de vie des habitants du village. Elle doit permettre d'orienter la gestion des ressources du terroir villageois pour améliorer les conditions de vie actuelles et futures (niveaux de revenus, sécurité alimentaire) de ces populations.
4. **Au niveau d'une exploitation agricole** : Le ménage paysan est soumis à une série de questions telles que : *quoi planter? quand planter? comment planter? et combien emblaver?* (Schweigman, 1993). De la réponse à ces questions dépendra la qualité et le niveau de la production. La planification de l'utilisation des terres au niveau ménage paysan a pour objectifs de mieux orienter le choix des activités de production en fonction de la disponibilité et de la qualité des ressources. pour maximiser le revenu et sécuriser l'alimentation des membres de l'exploitation.

L'instrument approprié pour la planification de l'utilisation des terres est la modélisation¹³. La modélisation permettra à l'exploitant agricole de mieux gérer ses potentialités en ressources(terre, main-d'œuvre, capital) en fonction de ces objectifs de production.

2.6.2 Interactions entre niveaux hiérarchiques

La complexité des agro-écosystèmes illustrée sur la Figure 2.5, indique qu'il existe une multitude d'agro-écosystèmes qui peuvent être structurés en allant de l'échelle macro (niveau mondial) à l'échelle micro (niveau plante ou animal). Cette complexité des agro-écosystèmes explique

¹³ Dans le chapitre 3, la procédure de modélisation sera décrite en détails dans la sous-section 3.2.1

l'existence d'interactions (ou trade-offs) entre ces différents niveaux hiérarchiques. Il s'agit par exemple des interactions qui peuvent exister entre *niveau mondial* et *niveau national d'une part, et celles entre niveau national/niveau régional et niveau ménage paysan d'autre part.*

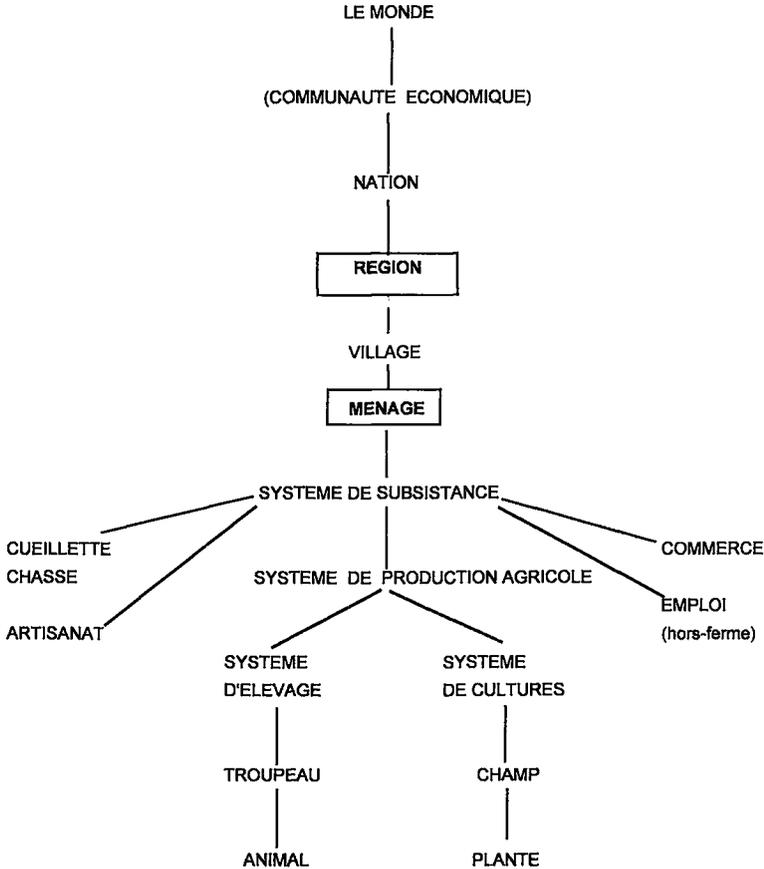


Figure 2.5. La hiérarchie¹⁴ des agro-écosystèmes (Source : Adapté de Conway & Barbier, 1990).

¹⁴ L'échelle régionale concerne plusieurs catégories d'entités selon que les critères de subdivision soient agro-écologiques ou administratives. Au Mali par exemple, après la grande région administrative, il y a le cercle et l'arrondissement. Dans ce document, le Cercle de Koutiala a été considéré comme une "petite" région administrative. Notons aussi que sur la figure 2.5, au plus bas de l'échelle, la plante aussi bien que l'animal doivent être considérés avec leur micro-environnement.

- **Les interactions entre niveau mondial et niveau national** : la situation économique mondiale peut avoir une grande influence sur les économies et les politiques nationales. Dans le cas par exemple des pays en voie de développement ; les fluctuations des cours mondiaux, les politiques d'ajustements structurels, les termes de l'échange, le dumping sont bien des facteurs économiques qui ont une très grande influence sur les conditions économiques et les politiques nationales de ces pays.
- **Les interactions entre niveau national et niveau régional** sont caractérisées par le fait que d'une part, la politique appliquée par les décideurs au niveau régional est guidée principalement par les objectifs généraux de développement au niveau national ; et d'autre part les potentialités spécifiques des différentes régions d'un pays peuvent influencer les orientations politiques en matière de développement au niveau national.
- **Les interactions entre niveau national/régional¹⁵ (macro) et niveau ménage (micro)** constituent l'essence même de la dynamique du développement économique. En effet, les politiques menées par les gouvernements au niveaux national et régional influencent les ménages dans leurs décisions de production aussi bien que de consommation. La pression exercée par les ménages (groupements de producteurs aussi bien que de consommateurs) peut amener aussi les gouvernements à réviser ou à réorienter leurs politiques nationales.

Dans cette étude de cas sur le Cercle de Koutiala, le choix des niveaux *régional et ménage-paysan* a été guidé par la recherche d'une interaction positive entre prise de décision des décideurs de haut niveau et des ménages-paysans en matière de gestion des ressources naturelles. L'objectif étant d'influencer les comportements des ménages-paysans à travers des instruments de politiques élaborés aux niveaux national et régional. Ceci revient à confronter le choix des décideurs publiques (« *Public choice* ») à celui des ménages-paysans (« *farmers choice* ») en matière de gestion durable des ressources et à analyser les politiques qui permettent de les harmoniser.

2.7 Politique agricole et comportements des ménages paysans

2.7.1 Mécanismes de prise de décision du ménage-paysan

Dans la théorie sur les mécanismes de prise de décision du ménage-paysan (Ellis, 1988), ce dernier est considéré comme étant un décideur individuel concerné par des questions telles que :

- quelles types de cultures pratiquées en fonction des besoins de consommation et des conditions de marchés?
- quelle type de sol faut-il allouer à telle culture?
- combien de main-d'œuvre doit-il être alloué aux travaux de telle ou telle culture?
- quel niveau d'intrant utilisé pour telle ou telle spéculation? etc.

Toutes ces questions montrent que les ménages-paysans peuvent varier leurs prises de décision concernant les choix des types de spéculations agricoles ainsi que le choix des types d'intrants et leurs niveaux d'utilisation dans les exploitations. Le processus de prise de décision du ménage-

¹⁵ Dans l'analyse de cette interaction, il est très difficile de séparer niveaux régional et national, car pour les ménages au niveau d'une région, les décideurs régionaux ne sont autres que des représentants de l'Etat.

paysan concernant le choix des cultures et l'allocation des ressources en terre n'est pas seulement déterminé par les niveaux de prix relatifs, mais dépend aussi largement des objectifs fixés.

Dans le choix de leurs objectifs, les ménages-paysans ont plutôt tendance à donner plus d'attention aux objectifs à court terme que sont, l'acquisition de revenu et la garantie de la sécurité alimentaire. Par contre, ils n'apporteront que très peu d'attention aux considérations de durabilité aussi longtemps que la garantie des objectifs à court terme sera compromise.

Les visions des ménages-paysans sont souvent séparées de celles des autres acteurs du développement en matière d'objectifs de développement et de perspectives de durabilité. En effet, très souvent les objectifs et horizons de planification des décideurs, chercheurs, et paysans ne coïncident pas. Les décideurs au niveau national et régional ont par exemple un objectif politique de conservation des ressources de base (durabilité) pour assurer la survie des populations actuelles et des générations futures. Quant aux paysans, des contraintes environnementales instables et des marchés peu sûrs, les obligent à procéder à une planification à court terme avec le souci principal de garantir à moindre coût leur sécurité alimentaire et bien-être à court terme.

2.7.2 Réactions des ménages-paysans aux instruments de politique agricole

Pour inciter les ménages paysans à s'orienter d'avantage dans la pratique d'une agriculture durable, il est nécessaire de prendre des mesures politiques pouvant influencer leurs comportements.

La problématique de l'analyse des réactions des ménages-paysans aux instruments de politique entraînent quelques questions clés d'analyse politique qui méritent d'être posées selon Reardon & Vosti (1992) : « *les ménages-paysans veulent-ils adopter les options techniques agricoles proposées et maintenir leurs investissements? peuvent-ils le faire? quels rôles la politique agricole pourrait jouer pour promouvoir ces nouvelles techniques de production durable? et quelles sont les politiques les plus appropriées pour les inciter à changer de pratiques?* ».

L'identification et la formulation d'instruments de politique agricole doivent donc nécessairement prendre en compte le comportement des ménages-paysans. Puisque les différents instruments de politiques ont des effets sur l'environnement à travers les comportements des ménages-paysans concernant les choix des activités agricoles et non-agricoles, l'allocation des différents facteurs de production à ces activités, et les investissements à effectuer dans ces activités. L'exploration des effets des politiques courantes sur les comportements des ménages-paysans qui affectent la productivité et la durabilité de l'agriculture, permettra de maximiser la compatibilité entre choix des objectifs des décideurs publiques (« *public choice* ») et ceux des ménages-paysans (« *farmers choice* »).

L'analyse des effets des mesures politiques sur les comportements des ménages paysans (Chapitre 6) est basée sur le circuit des effets politiques du niveau « *macro* » au niveau « *micro* » (Figure 2.6, Reardon & Vosti, 1992). Une politique donnée a d'abord un effet sur le bien-être et le comportement économique du ménage qui se répercutera ensuite sur l'allocation des ressources naturelles de base. Les principales étapes du circuit des effets politiques sont :

1. Les instruments de politique, le contexte économique, l'environnement physique, les infrastructures et institutions influencent tout d'abord les facteurs de motivation des ménages concernant leurs décisions de comportement. Ces facteurs de motivation sont les prix implicites et explicites des produits agricoles et non agricoles ainsi que les prix des facteurs de production.

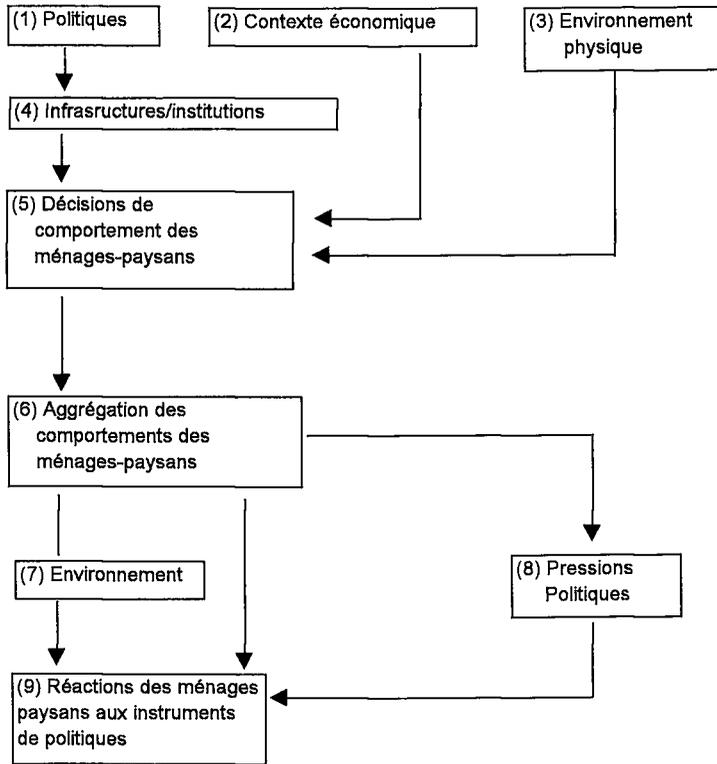


Figure 2.6. Circuit des effets politiques du niveau macro au niveau micro (Source : Reardon & Vosti, 1992).

2. Les facteurs de motivation (incentives) influenceront à leur tour les choix et les décisions des ménages-paysans concernant diverses activités de production (agriculture, élevage, foresterie).
3. Les choix d'utilisation des terres pour ces activités (agriculture, élevage, foresterie) par les ménages paysans affectent à leur tour, la disponibilité et qualité en ressources de base et donc l'environnement. L'agrégation de toutes ces décisions de comportement des ménages influencera à son tour l'environnement et créera des pressions politiques.
4. Les pressions politiques et l'environnement influencent et induisent encore des réactions au niveau des ménages-paysans.

Au niveau régional, l'objectif de durabilité agro-écologique à long terme est souvent en conflit avec d'autres objectifs à court terme tels que la sécurité alimentaire et la promotion des exportations. La réalisation des objectifs de développement au niveau régional est liée directement à la

qualité des ressources en terres et aux niveaux de production réalisées par les ménages-paysans (coton, céréales, lait viande). C'est ce qui explique entre autres l'existence du trade-off entre niveau régional et niveau ménages-paysans en matière de gestion des ressources.

Le modèle ménage paysan est utilisé pour étudier les effets des instruments de politique (comme les prix, le développement des marchés et la politique technologique) sur les décisions des ménages paysans concernant l'utilisation des ressources en terre. Ceci revient à analyser la faisabilité des changements dans la gestion des terres au niveau paysan, induites par des changements de politique dans leur environnement économique (prix). Les résultats de telles analyses donneront des indications sur les politiques à mener pour atteindre l'objectif régional de durabilité agro-écologique.

2.8 Conclusions

Les différentes données exposées dans ce chapitre ont permis tout d'abord de souligner la place de l'agriculture dans le processus de développement économique. Les principaux indicateurs de performance de la production agricole ainsi que leurs interrelations ont été analysées. L'ampleur de la dégradation des ressources naturelles en Afrique subsaharienne qui a été mise en exergue à travers plusieurs données quantifiées, montre jusqu'à quel point il est urgent et nécessaire d'avoir des instruments de politiques adéquats de lutte contre la dégradation des ressources et pour une durabilité des systèmes de production agricole. Une liste des différents types d'instruments politiques susceptibles d'être formulés a été dressée. Dans cette problématique de choix d'instruments politiques, la prise en compte des tensions pouvant exister entre objectifs des ménages-paysans et ceux de l'Etat, est très importante. Ces tensions apparaissent vraisemblablement en liaison avec les politiques de prix, d'investissement et de taxation (Sadoulet & Janvry, 1995). Pour que la mise en œuvre de la politique agricole soit efficace, l'accent doit être mis aussi sur la planification de l'utilisation des terres et l'analyse des réactions des ménages-paysans aux instruments de politique. Deux instruments appropriés ont été choisis pour de telles analyses : le modèle (PLBM) régional de Koutiala (MRK) et le modèle des ménages-paysans (MMP). Dans cette étude de cas concernant le Cercle de Koutiala (au Mali) : l'utilisation du modèle de programmation linéaire à buts multiples sera faite au niveau régional et l'utilisation du modèle des ménages-paysans concernera l'analyse des réactions de trois types de ménages-paysans aux instruments de politiques tels que : les prix (intrants, extrants), ainsi que la politique de choix technologique. Dans le Chapitre 3, l'approche, la procédure et la structure du modèle régional de Koutiala (MRK) et du modèle ménage paysan (MMP) seront analysées plus en détails.

3 Approches et méthodes de recherche

3.1 Introduction

Approche générale de recherche : l'approche systémique

En matière d'approches et de méthodes de recherche agricole dans les pays de l'Afrique subsaharienne, il y a eu une dynamique d'évolution historique pour s'adapter au fur et à mesure à la complexité des contraintes. En effet depuis plusieurs décennies, la méthodologie de recherche agricole en milieu paysan, a subi une évolution importante avec successivement :

- **L'approche disciplinaire** où chaque spécialiste (agronome, vétérinaire, forestier, économiste, etc.) évoluait individuellement sans intégration avec les autres disciplines.
- **L'approche recherche-systèmes** qui est une approche intégrée et pluridisciplinaire considérant le ménage paysan et son unité d'exploitation, c'est-à-dire sa famille et toutes les activités qu'il pratique.
- **L'approche systémique** : a été adoptée après plusieurs années de recherche-systèmes à cause de la complexité de plus en plus grande des contraintes et des interrelations entre l'homme et son environnement géographique aussi bien que socio-économique. Les intérêts de cette approche est qu'elle permet d'une part d'intégrer les données agro-écologiques et socio-économiques et d'autre part le faire la liaison entre niveaux micro-économique et macro-économique, pour atteindre une efficacité des prises de décision en matière de planification du développement agricole durable.

La modélisation : instrument d'analyse de l'approche systémique

L'instrument d'analyse appropriée utilisée dans l'approche systémique est *la modélisation technico-économique*. La nécessité d'une planification de l'utilisation des terres ainsi que de la formulation d'instruments de politique agricole a été déjà abordée dans le Chapitre 2. Dans cette étude de cas du Cercle de Koutiala, deux types de modèles ont été utilisés comme instruments d'analyse : le modèle de programmation linéaire à buts multiples (PLBM) utilisé au niveau régional (modèle régional de Koutiala : MRK) et le modèle ménage-paysan (MMP). Ce chapitre sera consacré à la définition de l'approche et à la description des structures respectifs de ces deux types de modèle. Les capacités et les limites des deux instruments seront aussi abordées ainsi que la méthodologie générale d'analyse et de comparaison des résultats obtenus. La formulation mathématique des deux modèles PLBM et MMP est présentée en annexes (3.1 et 3.2).

3.2 Modèle régional : approche et méthode de la programmation linéaire à buts multiples (PLBM)

L'un des outils appropriés pour l'analyse de la planification de l'utilisation des terres est la programmation linéaire à buts multiples (de Wit *et al.*, 1988 ; van Keulen, 1990 ; Veeneklaas, 1990). Les analyses avec le modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples donnent en effet, des indications pour les possibilités futures d'utilisation des terres en tenant compte de leurs qualités

ainsi que des contraintes environnementales et socio-économiques. En d'autres termes, les résultats aideront à répondre à la question de savoir comment planifier l'utilisation durable des terres?.

La technique a été décrite, appliquée et illustrée par plusieurs auteurs de par le monde dont on peut citer entre autres : Labonne (1978 et 1980) ; Spronk & Veeneklaas (1983) ; de Wit *et al.* (1988) ; Romero & Rehman (1989) ; van Keulen (1990) ; Spharim *et al.* (1992) ; van Keulen & Veeneklaas (1993) ; Schweigman (1993) ; van Rheenen (1995) ; van de Ven (1996). Tous ces auteurs ont eu à utiliser la méthode dans le contexte de la planification agricole dans différents pays et à différentes échelles (national, régional, terroir villageois, ménage paysan).

Au Mali, quelques expériences d'utilisation de la modélisation comme outil d'analyse des systèmes agricoles ont été menées :

- **Au niveau terroir villageois et ménage-paysan** : l'utilisation de la programmation linéaire a été faite pour analyser les systèmes agricoles en zone Mali Sud (Brossier & Jager, 1984, Bénoit-Cattin *et al.*, 1991, Kébé, 1993) ;
- **Au niveau régional** : il y a eut l'application de la méthode PLBM pour la planification de l'utilisation des terres dans la 5ème région du Mali (Veeneklaas *et al.*, 1991) ; et l'application de la méthode PLBM par le projet Production soudano-sahélienne (P.S.S.) pour la zone soudano-sahélienne du Mali (Bakker *et al.*, 1995).

3.2.1 La procédure de programmation linéaire à buts multiples (PLBM)

La procédure de programmation linéaire à buts multiples joue un rôle majeur dans l'analyse des possibilités d'une production agricole durable à différentes échelles géographiques en aidant au choix de la combinaison optimale des options techniques durables en fonction de la qualité et du niveau de disponibilité des ressources (terre, main d'œuvre, capital, etc.). Dans la procédure de modélisation PLBM, l'entité géographique auquel on applique la méthodologie de modélisation sera considérée comme un système ayant ces potentialités en ressources et auquel le décideur chargé de la gestion de ces ressources, assigne un certain nombre d'objectifs de développement à atteindre à court, moyen ou long terme. A chaque échelle, le type de décideur change et la complexité du problème à résoudre devient de plus en plus importante au fur et à mesure que l'échelle d'analyse augmente. Car le nombre de paramètres et de variables à intégrer et à analyser devient de plus en plus important. Dans cette étude de cas, cet instrument est utilisé pour analyser la planification de l'utilisation des terres et la mise en place de systèmes de production durables au niveau régional. Un ensemble d'options techniques durables sera analysé pour orienter les prises de décision concernant le choix des options de développement à savoir : quelles options techniques faut-il choisir pour telles ou telles objectifs de développement dans des conditions agro-écologiques et socio-économiques explicitement définis? Les principales étapes de la procédure de modélisation à buts multiples sont les suivantes :

1. **Description qualitative et quantitative des ressources disponibles** : La première phase de la procédure de modélisation consiste à connaître tout d'abord le potentiel en ressources disponibles, c'est-à-dire les différents types de sols (qualité et importance), la population (importance et structure, main-d'œuvre disponible). Ensuite la procédure de modélisation permettra de mieux orienter la gestion des ressources disponibles afin d'atteindre les objectifs de développement fixés ;

2. **Formulation du scénario de développement :** Après la description du potentiel en ressources, on formule tout d'abord le scénario de développement à analyser. Cette formulation consiste à définir les différents objectifs de développement parmi lesquels on doit retenir un objectif prioritaire correspondant à la « fonction-objectif » à optimiser tout en tenant compte des contraintes/restrictions liées à l'utilisation des ressources et aux conditions agro-écologiques et socio-économiques. Au niveau régional aussi bien que national, les décideurs peuvent avoir des objectifs¹⁶ de développement prioritaires qui peuvent varier selon les régions. La présente recherche est centrée sur l'étude de cas de l'application de la modélisation comme outil de planification de l'utilisation durable des terres au niveau du Cercle de Koutiala où la maximisation du revenu régional et la garantie de la sécurité alimentaire pour les populations ont été retenus comme objectifs prioritaires¹⁷ dans le scénario de développement défini et analysé.
3. **Incorporation des données techniques, agro-écologiques et socio-économiques :** les données agro-écologiques et socio-économiques sont incorporées dans le modèle à différents niveaux : la disponibilité des ressources (population, main-d'œuvre et terres) ; les possibilités de production nommées options techniques, qui sont décrites quantitativement et incluses dans la matrice intrants-extrants, les objectifs de développement définis et intégrés dans le modèle comme variables de décisions ; et les conditions économiques : prix des intrants et extrants (Figure 3.1) ;
4. **Génération des résultats :** C'est sur la base de ces informations, que le modèle génère la solution pour un scénario donné. Dans les résultats d'analyse il y a les informations suivantes :
 - la valeur maximale de la fonction objectif,
 - les valeurs correspondantes des variables-objectifs,
 - la combinaison optimale des options techniques et,
 - l'allocation des ressources entre activités de production.

Ces résultats quantifient par conséquent les diverses possibilités de production durable offertes à la région pour atteindre les objectifs de développement visés. La modélisation à l'aide de la programmation linéaire à buts multiples (PLBM) permet ainsi d'orienter les décideurs dans leurs prises de décisions concernant les options de développement. Mais les décideurs à n'importe quel niveau (exploitation agricole, région, pays) doivent définir au préalable leurs objectifs prioritaires de développement. Le rôle principal de la modélisation est d'orienter le(s) décideur(s) dans les prises de décision, sur la base de la connaissance qualitative et quantitative des ressources disponibles. Ces ressources seront ainsi mieux gérées avec une allocation objective qui va guider le choix des activités de production permettant d'atteindre les objectifs de développement visés.

¹⁶ La formulation du scénario de développement durable et la problématique du choix des objectifs de développement au niveau du Cercle de Koutiala sont abordés en détails dans le Chapitre 4 (Sous-section 4.3.1).

¹⁷ D'amples détails seront donnés au Chapitre 4, sur la problématique du choix des objectifs de développement qui implique une interaction entre les différents acteurs du développement.

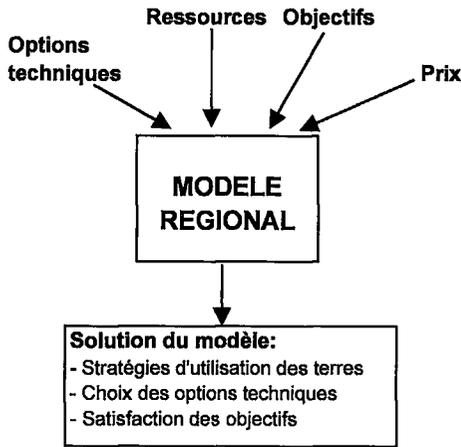


Figure 3.1. Eléments de la procédure de programmation linéaire à buts multiples (PLBM).

3.2.2 La phase post-modèle

C'est une étape qui intervient après l'obtention de la solution optimale contenant les résultats issus de la procédure PLBM. Elle consiste à comparer les données de la situation actuelle avec celles obtenues dans la solution optimale, en vue de valider les résultats du modèle et de dégager des recommandations sur les orientations futures du développement au niveau de la région étudiée (Figure 3.2).

L'analyse des perspectives d'une agriculture durable dans la région de Koutiala a été faite à l'aide du modèle (PLBM) régional de Koutiala (MRK) la structure est décrite à la prochaine section.

3.3 Structure du modèle régional

Les principales composantes

Les principales composantes du modèle (PLBM) régional de Koutiala (MRK) sont les types d'activités, leurs produits ainsi que les ressources qu'elles utilisent pour la production, et les contraintes et restrictions.

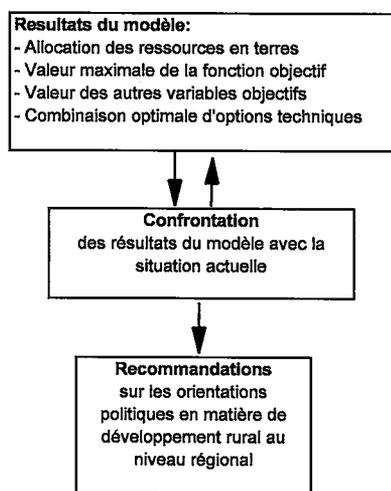


Figure 3.2. Phase post-modèle.

Types d'activités

Les principaux types d'activité de production considérés dans le modèle sont : les cultures (céréales, coton, légumineuses, cultures fourragères), la sylviculture (bois de chauffe et de service), l'élevage (bovins, ovins et caprins), l'exploitation des pâturages. Chaque activité a sa propre combinaison de quantités différentes en intrants et extrants qui constituent la plupart des coefficients techniques du modèle. Les prix des intrants externes (engrais et suppléments) sont également des coefficients importants pour le modèle.

En plus de ces principales activités, il y a d'autres types d'activités intermédiaires et secondaires qui jouent un rôle dans les interrelations entre les principales activités. Parmi ces activités intermédiaires, il y a les activités de recyclage des résidus (enfouissement, brûlage, litière, etc.) et les activités de transport. Les activités de recyclage des résidus jouent un rôle clé dans la durabilité des systèmes de production (Chapitre 4, Figure 4.8). Concernant les activités de transport, les produits intermédiaires concernés (Figure 3.3) sont les éléments nutritifs (matière organique, azote, phosphore, potasse), les fourrages et les résidus de récolte. Pour ces produits intermédiaires une distinction est faite entre deux lieux d'utilisation : le champ et la ferme. La liaison entre les deux lieux est assurée par deux types de transport : celui de fumier (matière organique et éléments nutritifs) de la ferme vers le champ, et celui des résidus de récolte et fourrage du champ vers la ferme. Les activités et les différentes interrelations entre elles dans le modèle régional de Koutiala (MRK) sont présentées à la Figure 3.3.

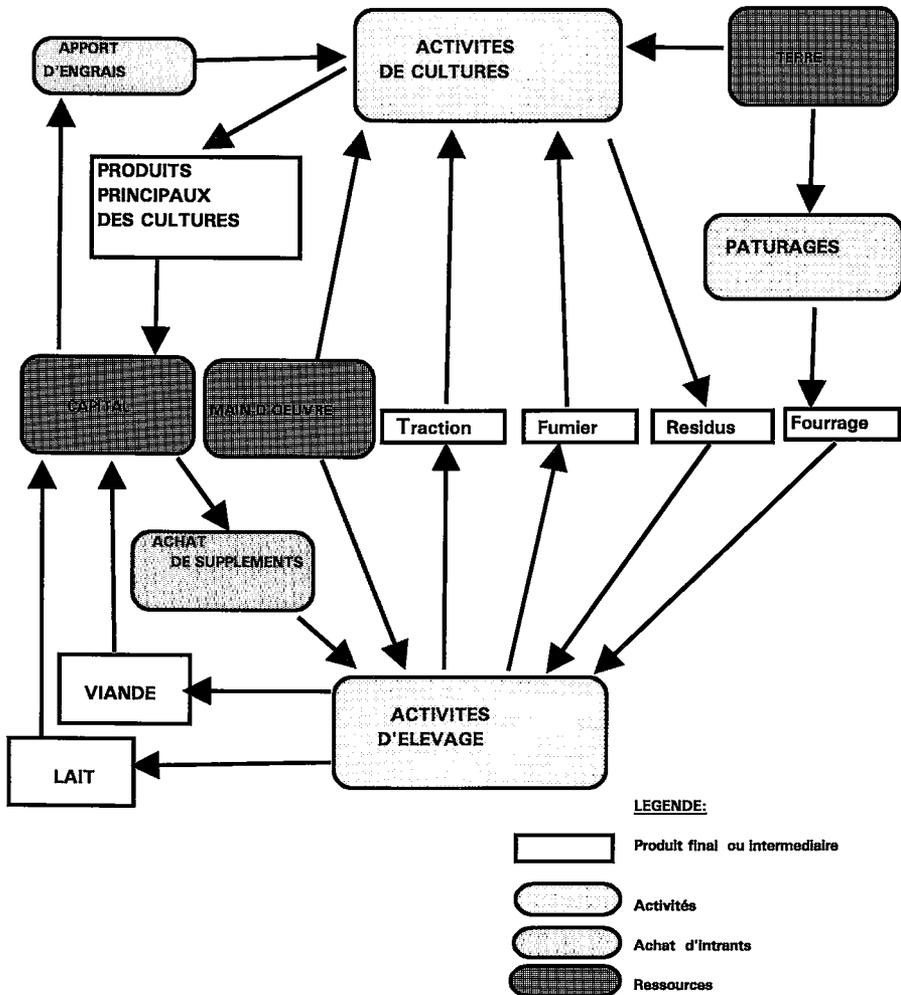


Figure 3.3. Diagramme relationnel des principales composantes du modèle régional (Source : Adapté de Bakker *et al.*, 1995).

Ressources et utilisations

Les principales ressources considérées sont la terre, la main-d'œuvre et le capital. Les potentialités en ressources du Cercle de Koutiala concernant les types de sol, la population et la main-d'œuvre disponible ont été décrites au Chapitre 4 (Section 4.2). En ce qui concerne le capital, les principales sources considérées sont le crédit intrants et la valorisation des produits principaux des cultures

et de l'élevage en capital-revenu en considérant leurs prix moyens sur les marchés locaux. L'utilisation des ressources (terre, capital, main-d'œuvre) est décrite dans le diagramme relationnel des principales composantes du modèle régional (PLBM) présenté à la Figure 3.3. *Les activités de culture (et de sylviculture)* utilisent les ressources (terre, main d'œuvre, capital) et d'autres intrants (engrais, fumier et bœufs de labour) pour produire les principaux extrants (graines de céréales, coton, légumineuses, etc.) et leurs produits secondaires (résidus, fanes) utilisables comme fourrage en élevage. *Les activités d'élevage* utilisent la main d'œuvre, le capital, et des fourrages pour produire du lait, de la viande, du fumier et de la force de traction. *Les « activités » de pâturage* produisent du fourrage (et aussi du bois de chauffe) en utilisant la terre comme seul intrant.

Contraintes et restrictions

Les restrictions dans le modèle régional peuvent être divisées en deux types : les restrictions techniques et les restrictions applicables aux variables-objectifs. Le premier type de restrictions est formulé sous forme des bilans qui limitent l'exploitation des ressources et des produits intermédiaires par rapport à leurs disponibilités totales. Ce type de restrictions précise donc toujours que la somme des besoins d'une ressource donnée (comme la terre) ne peut pas dépasser sa disponibilité totale : **Besoin total \leq disponibilité totale.**

Une vue globale des différents types de restrictions techniques est donnée au Tableau 3.1. Pour chaque ressource ou produit intermédiaire, il y est indiqué quelle en est la provenance et quels sont les types d'activités qui l'utilisent. Les sources de provenance sont marqués du signe '+' et les types d'activité qui l'utilisent sont marqués du signe '-' (Tableau 3.1). Par exemple, les résidus de récolte du niveau « champ » proviennent directement des activités culturelles et peuvent être utilisés par différents types d'activités (brûlage, empaillage, enfouissement, fourrage, et transport). Chaque type de restriction donné dans le tableau correspond à plusieurs restrictions dans le modèle, car la ressource ou le produit intermédiaire peut être subdivisé. Pour l'application du modèle au Cercle de Koutiala qui fait partie d'une seule sous-zone climatique, où on distingue dix cultures, il y a donc dix bilans de résidus de récolte à la ferme. Les différentes contraintes et restrictions peuvent être décrites comme suit :

- **Contrainte terre** : Les différents types de sols qui existent dans le Cercle de Koutiala ont été répertoriés (Chapitre 4, Sous-section 4.2.2). *La contrainte terre* a été spécifiée en considérant que le besoin en superficie cultivable d'un type de sol donné est inférieur ou égal à sa disponibilité totale.
- **Contrainte main-d'œuvre** : La disponibilité totale en main-d'œuvre a été limitée à la disponibilité interne de la région correspondant à 55% de la population totale¹⁸. C'est-à-dire qu'une importation de main-d'œuvre externe à la région a été exclue, en considérant l'hypothèse de base que le développement agricole durable doit se réaliser sur la base des potentialités en ressources humaines de la région. L'utilisation de main-d'œuvre a été divisée entre les différentes activités productrices intra-ferme (cultures, élevage, sylviculture)¹⁹ pour les trente périodes de

¹⁸ Le choix de cette proportion est basé sur la proportion totale en actifs de la population

¹⁹ L'exécution des travaux hors-ferme dans d'autres secteurs n'a pas été incluse dans les analyses. Cependant au cours de certaines périodes de pointe de l'année (par exemple au cours de la campagne agricole) une très grande part de la disponibilité en main-d'œuvre peut être mobilisée pour les activités productrices seulement. Mais dans certaines périodes, une faible part de la disponibilité en main-d'œuvre peut être utilisée. Ce qui laisse la possibilité de mobiliser l'excédent en main-d'œuvre pour les autres emplois hors-ferme.

l'année (Chapitre 4, Sous-section 4.6.5). La contrainte en main-d'œuvre a été spécifiée en considérant que le besoin total en main-d'œuvre au cours d'une période donnée de l'année, est inférieure ou égale à la disponibilité totale en main-d'œuvre.

Tableau 3.1. Bilans et restrictions techniques du modèle régional.

Ressource ou produit intermédiaire	Critères de subdivision	Sources (+)	Activités d'utilisation de la ressource(-)
Terre	Par type de sol	(+) Ressource naturelle	(-) Activités de culture (-) Activités de sylviculture (-) Jachère (-) Pâturage
Main d'œuvre	Par période	(+) Population du Cercle (% actifs)	(-) Tous types d'activité
Résidus de récolte (champ)	Par type de sol Par culture	(+) Activités de culture	(-) Brûlage des résidus (-) Enfouissement (-) Empaillement résidus (-) Fourrage au champ (-) Transport à la ferme
Résidus de récolte (ferme)	Par culture	(+) Transport du champ à la ferme	(-) Fourrage à la ferme (-) Litière
Fourrage (total)	Par saison Par classe de qualité	(+) Pâturage (+) Fourrage au champ (résidus) (+) Fourrage à la ferme (résidus) (+) Supplémentation	(-) Activités d'élevage
Fourrage (ferme, saison sèche)	Par classe de qualité	(+) Fourrage à la ferme (résidus) (+) Supplémentation	(-) Activités d'élevage
Éléments nutritifs(champ)	Par type de sol Par type de nutriment	(+) Apport d'engrais chimiques (+) Jachère (+) Brûlage des résidus (+) Enfouissement des résidus/paillis (+) Elevage (fumier pendant brouillage résidus au champ) (+) Transport du fumier de la ferme au champ	(-) Activités de cultures (-) Activités de sylviculture
Éléments nutritifs (ferme)	Par type de nutriment	(+) Fumier rassemblé dans les parcs ou étables (+) Litière produite à la ferme	(-) Transport du fumier vers le champ
Bœufs de labour	Par source (achat ou naissance dans le troupeau)	(+) Elevage des bovins en troupeaux avec dressage des bœufs de labour (+) Achat sur les marchés	(-) Activités de cultures (-) Activités d'enfouissement des résidus
Animaux d'embouche	Par sexe Par catégorie de poids	(+) Elevage des bovins en troupeaux	(-) Elevage d'embouche

- **Contrainte capital** : En ce qui concerne le capital, une restriction additionnelle a été incluse par rapport à la disponibilité en moyens liquides pour l'achat d'intrants (engrais et suppléments) nécessaires pour l'intensification et la durabilité. L'hypothèse considérée est que la disponibilité du capital nécessaire pour l'achat d'intrants est garantie à travers le crédit. La disponibilité du crédit intrants au début de la campagne est une condition importante pour assurer la praticabilité

lité du système de production durable. La valeur de ce crédit correspond au total des coûts d'engrais et de suppléments.

- **Exigence de la sécurité alimentaire** : a été prise en compte par l'exigence de la satisfaction des besoins de consommation de la population de la région en produits alimentaires (céréales, légumineuses, lait et viande) et en bois. Les raisons d'une telle exigence seront explicités dans la Section 3.2 portant sur la formulation des objectifs de développement au niveau régional.
- **Exigence d'un nombre minimum de petits ruminants** : une restriction a été incluse pour exiger que la proportion de petits ruminants soit au minimum de 10% du cheptel total généré. Ceci compte tenu de leur importance dans les systèmes de production, à savoir l'autoconsommation en viande et leur utilisation pour la satisfaction de plusieurs besoins socio-économiques. Cette proportion correspond à leur importance actuelle dans le cheptel total de la région de Koutiala.
- **Satisfaction des besoins en bœufs de traction** : Le cheptel interne à la région doit fournir 75% du besoin total en bœufs de traction et 25% au maximum peut être acheté à l'extérieur de la région. *La superficie en coton* ne doit pas dépasser le tiers de la superficie totale cultivée, pour tenir compte du système de rotation coton-céréales.

Ces différentes restrictions ont été incluses dans le modèle pour tenir compte de certaines exigences liées à la réalité actuelle. En effet, pour le cas du coton par exemple sans une telle restriction, le modèle peut affecter 75% des terres au coton, compte tenu du prix élevé de cette culture par rapport aux autres. Aussi sans la restriction de l'autosuffisance, des cultures aussi importante dans la consommation alimentaire telles que le mil ou le maïs, peuvent par exemple n'être retenues que faiblement dans le système choisi par le modèle. Concernant les petits ruminants, leur importance a été standardisée comme au moins égale à celle observée à l'heure actuelle. Car une solution du modèle sans petits ruminants ne serait pas applicable compte tenu de leur importance actuelle dans la région. Ces différentes restrictions ont donc pour but d'imposer certaines réalités incontournables afin de limiter les écarts entre les résultats du modèle et les données de la situation actuelle. Les contraintes et restrictions ainsi analysées sont aussi spécifiées sous forme d'équations dans la formulation mathématique du modèle régional en annexe 3.1.

3.4 Intérêts et limites de l'approche modélisation PLBM

3.4.1 Intérêts de la modélisation PLBM

Le modèle de programmation linéaire à buts multiples (PLBM) est une description mathématique d'un problème d'allocation des ressources qui a surtout pour but de décrire et d'analyser les potentialités de production agricole durable. Dans le cas spécifique du Cercle de Koutiala, le problème décrit est une situation où une quantité limitée de ressources (terre, main-d'œuvre, capital) disponibles dans le cercle, doit être allouée de manière efficace à une diversité d'activités de production, afin d'atteindre une combinaison d'objectifs de développement. L'analyse d'un tel problème doit aboutir à l'instauration d'une stratégie de gestion durable des ressources dans le Cercle de Koutiala.

Exploration des possibilités pratiques d'une agriculture durable

L'un des premiers avantages et perspectives offert par le modèle de programmation linéaire à buts multiples (PLBM) est qu'il permet d'explorer les possibilités pratiques d'une agriculture durable. A ce niveau une distinction doit être faite entre la faisabilité technique et la faisabilité économique.

- **La faisabilité technique** : elle se réfère aux options techniques disponibles dans le processus de développement agricole durable. Dans le modèle PLBM, toutes les connaissances disponibles sur les intrants et extrants des options techniques sont rassemblées de manière systématique. Les connaissances existantes sur les modes culturaux, les processus d'évolution des sols, les systèmes de production animale (etc.), sont utilisées pour définir le potentiel de production technique. Le modèle PLBM constitue par conséquent **une bonne base de recherche interdisciplinaire** où l'élaboration de la matrice intrants-extrants fait intervenir des spécialistes des différentes disciplines. Les options techniques définies sont alors analysées comme pièces maîtresses du modèle. Dans ces analyses certaines combinaisons d'options techniques sont logiquement sélectionnées par le modèle plutôt que d'autres. Les activités choisies sont évaluées comme étant les plus intéressantes. Elles peuvent être testées en station d'expérimentation, puis dans une exploitation agricole. L'approche PLBM peut ainsi servir les objectifs d'une recherche agronomique et zootechnique.
- **La faisabilité économique** : elle reflète quant à elle, l'attrait économique des combinaisons d'options techniques. La faisabilité économique d'une option technique durable dépend des niveaux de prix et peut être considérée comme **un indicateur du potentiel d'acceptation des technologies nouvelles** par les ménages-paysans. Des analyses de sensibilité avec le modèle permettent de simuler différentes situations de prix et d'explorer leurs effets sur les objectifs à atteindre. Ceci permet de mettre en valeur l'efficacité des différentes politiques de prix et aiderait à identifier les instruments politiques susceptibles de stimuler une production durable.

Choix judicieux des options de développement

Un autre avantage du modèle PLBM est qu'il relie les combinaisons sol-climat avec la pratique des options techniques les plus appropriées dans des conditions spécifiques. Le choix des options techniques se faisant sur la base de l'adéquation des combinaisons sol-climat. Les résultats d'analyse avec le modèle PLBM fournissent ainsi des indications sur le choix des options techniques et les manières les plus efficaces d'allouer les ressources aux activités de cultures et d'élevage selon les objectifs visés et les scénarios de développement envisagés ; c'est-à-dire : quels types de sols conviennent le mieux aux pâturages? aux cultures fourragères? aux productions alimentaires? aux cultures de rente? quelles espèces animales semblent les plus intéressantes? les petits ruminants, les bovins, la volaille? quel est le niveau de fertilisation nécessaire pour atteindre la durabilité? quels sont les niveaux d'intensification les plus rentables pour les différents types d'activités? Les réponses à ces questions peuvent varier en fonction des objectifs fixés et des scénarios de développement formulés.

Capacité d'analyse

Un autre avantage du modèle PLBM est sa grande capacité d'analyse. La solution optimale peut être obtenue par le programme linéaire dans un temps limité, même si le nombre de paramètres et de variables est très grand. Au Mali par exemple, plusieurs exemples d'utilisation du modèle

PLBM existent déjà. Cet instrument a été utilisé dans la Région de Mopti (5ème Région du Mali) par l'Equipe de recherche sur les Systèmes de Production Rurale (Veeneklaas *et al.*, 1991) pour analyser l'utilisation des terres dans le contexte d'une compétition pour des ressources limitées. Ces analyses ont été faites en associant les données diverses sur les ressources régionales à des activités possibles dans la région. En zone Mali-sud la modélisation technico-économique a été utilisée par Kébé (1993) comme outil d'analyse de la viabilité et de la productivité des systèmes intensifs de production agricole. La technique a été utilisée par Bakker *et al.* (1995) pour analyser la gestion optimale des ressources et les systèmes de production durable en zone soudano-sahélienne du Mali (Projet production soudano-sahélienne). Le modèle PLBM utilisé pour ce dernier cas contient environ dix mille restrictions et vingt cinq mille variables. Cependant, trouver la solution d'une séquence introduite prend entre une heure et demi et huit heures, selon le type d'ordinateur. Cette grande capacité d'analyse est l'un des avantages qui est à la base de la popularité de la programmation linéaire en tant qu'outil de planification d'un développement agricole durable.

3.4.2 Limites de la modélisation PLBM

Evaluation et prise en compte du risque

L'absence de toute évaluation du risque peut être une autre limite de l'approche si aucun effort n'est fait pour la corriger. La variation dans les relations intrants-extrants imputable à une variation climatique peut être très grande. Les analyses du modèle sont souvent basées sur des conditions pluviométriques annuelles normales, évaluées sur plusieurs années. Or, le risque d'une production alimentaire insuffisante et celui d'un revenu limité, liés à une année très sèche doivent être pris en compte (Veeneklaas *et al.*, 1991). Pendant une telle année, les relations intrants-extrants y sont définis comme ceux d'une « année catastrophe » typique, où la pluviométrie n'atteindra que 60% de la pluviométrie normale. Il est alors possible de fixer les limites de certains objectifs pour une année de sécheresse, au coût cependant d'un grand nombre de variables et de coefficients additionnels. Les résultats du modèle régional (PLBM) présentés au Chapitre 4 sont obtenus en condition de pluviométrie normale. Il serait aussi opportun que les valeurs de certains paramètres soient estimés pour une année sèche (rendements des cultures, cheptel, production de lait et viande, etc.) afin de mesurer l'impact du risque climatique sur les résultats.

Détermination des poids des objectifs et des préférences

Concernant le modèle de programmation linéaire à buts multiples, les procédures adéquates pour mesurer l'importance des objectifs ne sont pas facilement disponibles. Dans le cas d'objectifs multiples comme le profit, l'utilité et le risque, le poids ou l'importance relative de chaque objectif doit être déterminée pour l'optimisation. Finalement, les raisons spécifiques des ménages-paysans pour l'adoption des nouvelles technologies ne peuvent pas être suffisamment identifiées.

Production et consommation

Les modèles de programmation linéaire sont en général strictement orientés sur l'analyse de la production. Un niveau minimum de consommation peut seulement être pris en compte comme une contrainte, mais l'analyse du comportement concernant la consommation dépendante du revenu est

exclue. Ce qui implique que la séparabilité est imposée de manière à ce que le choix productif détermine le niveau de revenu, pendant que ce dernier ne peut pas déterminer complètement les options de consommation. Les liens entre consommation et production ne sont pas de cette manière suffisamment abordées.

Manque d'analyse sur le comportement des ménages-paysans

Une première limite du modèle PLBM est qu'il ne tient pas compte des contraintes liées au comportement des paysans (qui constituent les principaux acteurs du développement rural) ainsi que de certaines contraintes institutionnelles qui apparaissent pendant le processus de développement. Les résultats sont donc typiquement des résultats d'analyse exploratoire qui définissent les possibilités techniques de développement futur et qui aboutissent à une définition de la frontière limitative des options de développement (Veeneklaas *et al.*, 1991). Rabbinge & Van Ittersum (1994) ont fait une distinction utile entre trois types d'études : (a) les études exploratives qui sont orientées sur les limitations techniques où les techniques de programmation linéaire à buts multiples (PLBM) peuvent être utilisées, b) les études explicatives qui sont surtout relatives à l'analyse des systèmes de production actuels, et finalement les études prévisionnelles qui analysent les perspectives de l'ajustement de l'utilisation des terres comme réponse aux instruments de politique. Le dernier type de recherche demande une spécification claire des mécanismes de comportement des ménages-paysans qui peuvent influencer l'allocation des ressources. C'est pour combler cette lacune que le modèle PLBM sera utilisé en combinaison avec le modèle ménage paysan (Section 3.5) qui permet d'analyser les effets des instruments de politiques sur les comportements des ménages-paysans.

3.5 Approche et procédure du modèle ménage-paysan

3.5.1 Approche modélisation des ménages-paysans

L'objectif de durabilité dans le Cercle de Koutiala (niveau régional), se situe à long terme et vise l'augmentation de la productivité agricole sans une réduction de la qualité des ressources naturelles. Quant aux ménages-paysans, ils ont des objectifs immédiats tels que : la satisfaction des besoins de consommation alimentaire, la maximisation du revenu monétaire, et la minimisation du risque liée à la sécurité alimentaire. Ces objectifs à court terme concurrencent l'objectif de durabilité à long terme.

En plus de cet écart entre objectifs, les relations entre paysans et décideurs régionaux (Commandants de Cercle et d'Arrondissement) sont marquées par un système de recouvrement d'impôts avec une tendance répressive. Ce qui ne facilite pas un rapprochement et une mise en confiance des paysans vers les décideurs chargés de la destinée du Cercle. La situation actuelle de l'agriculture dans le Cercle est marquée par une surexploitation des ressources qui conduira à moyen et long terme à une faible productivité agricole avec des ressources pauvres, limitées et surexploitées. La question fondamentale qui se pose donc est comment passer de la situation actuelle avec la pratique de systèmes de production non-durables, vers une situation future avec un système de production durable à haute productivité?

Le modèle ménage-paysan (MMP) sert à analyser les options actuelles de production au niveau des ménages paysans en liaison avec la fonction de consommation (demande). Les analyses concernent :

- les systèmes d'utilisation actuels des terres,
- le niveau de durabilité ainsi que le niveau de rentabilité économique des systèmes de production actuels par type de ménage-paysan,
- et l'analyse des réactions des ménages-paysans aux instruments de politiques, qui permettra d'identifier les meilleurs instruments visant à les inciter à changer de comportement pour passer de la situation actuelle non durable vers une situation de gestion durable des ressources.

En effet le changement de comportement des paysans « principaux acteurs du développement rural » est nécessaire pour qu'il y ait une concordance entre les objectifs des décideurs et ceux des paysans. Ils doivent en effet abandonner leurs pratiques dégradantes actuelles pour adopter des options techniques d'intensification durables. Le système de production durable est analysé au niveau régional à l'aide du modèle de programmation linéaire à buts multiples (Chapitre 4) ; et l'analyse des effets des instruments de politiques se fait à l'aide de l'approche modélisation des ménages-paysans (Chapitre 5).

L'utilisation des instruments de politiques d'incitation des paysans vise à apporter des changements dans leur environnement socio-économique. Parce que la liaison entre décisions politiques et réactions des ménages-paysans est fonction de l'environnement socio-économique dans lequel ils se trouvent, à savoir : les marchés, le crédit, les infrastructures (routes, marchés, etc.), la sécurisation foncière, la formation et la responsabilisation des paysans et de tous les acteurs des filières des principaux produits. Ces politiques d'incitation doivent influencer directement ou indirectement les pratiques paysannes de gestion et d'utilisation des terres. Au niveau micro-économique, les prises de décision des ménages-paysans dans l'utilisation des terres sont guidés par leurs objectifs et aspirations, et limitées par les ressources disponibles, et les contraintes externes biophysiques et socio-économiques.

L'approche modélisation des ménages-paysans est ainsi utilisée pour analyser les réponses des ménages-paysans aux décisions politiques concernant les changements dans leur environnement socio-économique et pour voir s'ils sont compatibles avec les buts politiques recherchés au niveau régional.

3.5.2 Procédure et concept de base du modèle ménage-paysan

Concept de base du modèle ménage-paysan

Le concept de base du modèle des ménages-paysans utilisé pour les analyses sur les réactions des ménages-paysans (Chapitre 5) est une adaptation du modèle de base du ménage paysan développé par Singh & Janakiram (1986) sur la base des travaux antérieurs de Barnum & Squire (1979). Ce modèle permet d'analyser en même temps des objectifs et décisions de production et de consommation des ménages-paysans, en maximisant une fonction d'utilité soumise aux contraintes de temps et de revenus.

L'importance d'un tel modèle est qu'il fournit une méthodologie pour *prédire* les réactions des ménages-paysans aux différents changements des variables domestiques endogènes et des variables exogènes de marché. Les variables domestiques endogènes concernent par exemple la taille et la structure familiale du ménage-paysan, et les variables du marché sont les prix des intrants et extrants, taux de salaire et technologies. Les principales hypothèses de base du modèle ménage-paysan sont les suivantes (Barnum & Squire, 1979) :

1. Il existe un marché de main-d'œuvre sur lequel le ménage-paysan peut être capable de louer sa main-d'œuvre ou de recruter la main-d'œuvre extérieure au prix en vigueur sur le marché du travail.
2. La disponibilité en terre au niveau du ménage-paysan est fixe, au moins pendant la durée d'un cycle de production.
3. L'activité à l'intérieur du ménage paysan (pratiquant un certain nombre d'activités de production) et le temps de repos sont prises en compte dans le cadre de la maximisation de la fonction d'utilité de consommation.
4. Un important choix pour le ménage-paysan est celui entre sa propre consommation de produits et la vente de produits pour satisfaire ses besoins de consommation en produits hors-ferme, tels que les produits manufacturés.

Dans la structure du modèle des ménages-paysans, la maximisation de la fonction d'utilité est l'objectif majeur ou fonction objectif. Dans cette fonction objectif il y a trois éléments clés :

- le temps de travail pour la production agricole ;
- l'autoconsommation en produits agricoles ;
- les biens et services achetés.

La préférence entre ces éléments est influencée par la taille du ménage-paysan et sa composition entre actifs et membres dépendants. L'utilité est maximisée sous la contrainte de temps de travail, la contrainte de revenu et la fonction de production.

Procédure modélisation des ménages-paysans

Dans la procédure de modélisation du ménage paysan, c'est la structure modulaire qui est utilisée (Kruseman *et al.*, 1998 ; Hengsdijk & Kruseman, 1993 ; Figure 3.4). Ceci compte tenu de la complexité des interactions entre différentes composantes du modèle d'une part (production et consommation, conditions de prix, activités et objectifs multiples des ménages-paysans) ainsi que des interactions entre domaines socio-économiques et agro-écologiques et entre niveaux hiérarchiques (région, ménage paysan) d'autre part.

La procédure modélisation des ménages paysans (Figure 3.4) est appliqué à chaque type de ménage-paysan selon les principales étapes suivantes :

1. On décrit tout d'abord la disponibilité en ressources (terres, population, main-d'œuvre) et équipement.
2. Les objectifs et aspirations sont définis en spécifiant la fonction-objectif.
3. Les possibilités d'utilisation des terres sont décrites sur la base des types de sols existants.
4. Les options techniques (actuelles ou alternatives) sont définies et incluses comme pièces maîtresses des analyses.
5. Les composantes de l'environnement socio-économique telles que les niveaux de prix des intrants et extrants ainsi que les valeurs des coûts de transaction et autres variables socio-économiques sont aussi inclus dans le module des prix. Les modifications de valeurs de ces variables socio-économiques (prix, coûts de transaction) permettent aussi d'analyser les effets des mesures politiques sur les comportements des ménages paysans (Chapitre 6).
6. C'est en fonction de ces différentes informations que le modèle génère la solution d'optimisation par type de ménage paysan (Chapitre 5, Section 5.5). Les résultats inclus dans cette solution concerne : les valeurs maximales de la fonction objectif (revenu et utilité de consommation).

tion), les données de productivité technique et économique du système de production non-durable analysé (production agricole, niveau de revenu, niveau de durabilité), ainsi que le choix de la combinaison d'options techniques dont la pratique permet la satisfaction des objectifs fixés.

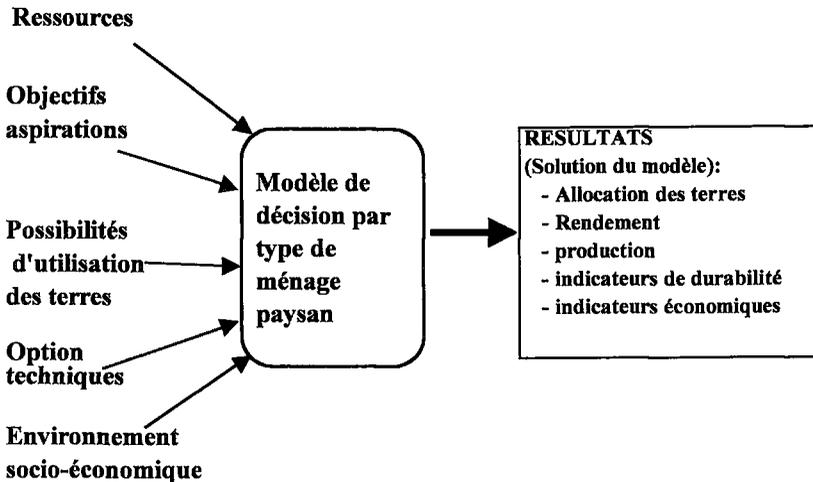


Figure 3.4. Procédure du modèle de décision des ménages paysans (Source : adapté de Hengsdijk & Kruseman, 1993).

3.5.3 Procédures d'analyse

Analyses partielles par type de ménage-paysan

Les analyses par type de ménage-paysan seront faites à deux niveaux :

1. *Les analyses partielles par type de ménage-paysan* seront d'abord effectuées **dans le cadre du scénario de base initiale SB1** (Chapitre 5), pour déterminer la structure de production initiale optimisant l'utilité de consommation et le revenu net en condition de prix fixes et de systèmes de production non-durables.
2. *Les analyses partielles par type de ménage-paysan* seront aussi effectuées en vue de mesurer les **effets des mesures politiques** sur les comportements individuels des ménages-paysans (Chapitre 6). Ces dernières analyses ont pour objectifs d'identifier la structure de production modifiée sous l'effet de mesures politiques gouvernementales visant à stimuler la pratique d'une agriculture durable au niveau ménage-paysan.

Les résultats obtenus dans les analyses partielles permettent ainsi d'apprécier d'une part la structure de production initiale et la productivité des systèmes de production non-durables, et d'autre part

d'apprécier les changements induits par les effets des mesures politiques gouvernementales au niveau de chaque type de ménage-paysan.

Analyse globale au niveau régional

L'analyse globale a pour but d'une part d'évaluer les valeurs des objectifs de développement au niveau régional (production totale, production par hectare et par habitant des produits de base, revenu obtenu par unité de surface et par habitant) en se basant sur les valeurs obtenues par type de ménage-paysan ; et d'autre part d'analyser les effets de la fluctuation de l'offre globale régionale sur l'équilibre du marché des produits de base. L'analyse globale a été ainsi faite sous deux formes :

- **Un premier type d'analyse globale** a été effectuée pour estimer en condition de prix fixes, les valeurs moyennes des principaux indicateurs ou objectifs de développement au niveau régional, sur la base *des valeurs partielles* et du nombre total par type de ménage-paysan.
- **Un deuxième type d'analyse globale** a été faite pour analyser les effets de la fluctuation de l'offre globale des produits de base sur l'équilibre du marché suite à une agrégation régionale des productions partielles des ménages-paysans. La *procédure d'agrégation régionale* est basée sur les productions partielles et le nombre total par type de ménage-paysan. On considère en effet l'hypothèse que cette agrégation régionale de l'offre établirait un nouvel équilibre offre/demande qui modifierait les prix endogènes des produits de base (céréales, viande).²⁰

Dans la représentation schématique de cette procédure d'agrégation régionale présentée à la Figure 3.5 l'équilibre offre/demande est représenté sous une forme graphique :

- **Dans la partie A** : l'équilibre est défini de façon telle que la courbe de la demande D intercepte à la fois les courbes d'offre à court (S^*s) et moyen (S^*m) termes au point (q^*, p^*) .
- **Dans la partie B** : L'impact éventuel de la fluctuation des changements de conditions sur le déplacement du point d'équilibre est représenté sous une forme graphique. Au sens que les modifications technologiques induites au niveau ménage-paysan par les mesures politiques gouvernementales induiront à leur tour une augmentation de la production (Point 4, Figure 6.1, Chapitre 6, Sous-section 6.4). L'agrégation régionale des productions partielles par type de ménage-paysan aura pour effet d'augmenter l'offre des produits de base. Dans la partie B de la Figure 3.5 : l'offre se déplace ainsi à court terme des points $q1^*$ à $q2^*$, et à moyen terme de $q2a$ à $q2b$. L'équilibre précédemment établi au point $(q1^*, p1^*)$ se déplace au point $(q2^*, p2^*)$ qui constitue le nouveau point d'interception de la nouvelle courbe d'offre avec la courbe de demande.

Cette agrégation régionale de la production totale considérant une hypothèse de modification de l'équilibre offre/demande sur les marchés est généralement faite pour déterminer les nouveaux prix d'équilibre auxquels les produits de base (céréales, légumineuses et produits animaux) peuvent être écoulés sur le marché régional dans la condition d'une fluctuation de l'offre à court et moyen terme (Bade *et al.*, 1997 ; Ruben *et al.*, 1998).

²⁰ Dans le contexte du marché libre, les céréales et les produits animaux ont des prix endogènes qui sont déterminés par l'équilibre de l'offre et de la demande. Comparativement au coton et autres intrants (engrais) qui ont des prix fixes (exogènes) déterminés au niveau du marché mondial. Signalons que dans le Chapitre 6, des mesures politiques spécifiques de fixation des prix des céréales et des produits animaux, ont élaboré en vue de mesurer leurs effets sur les comportements des ménages-paysans.

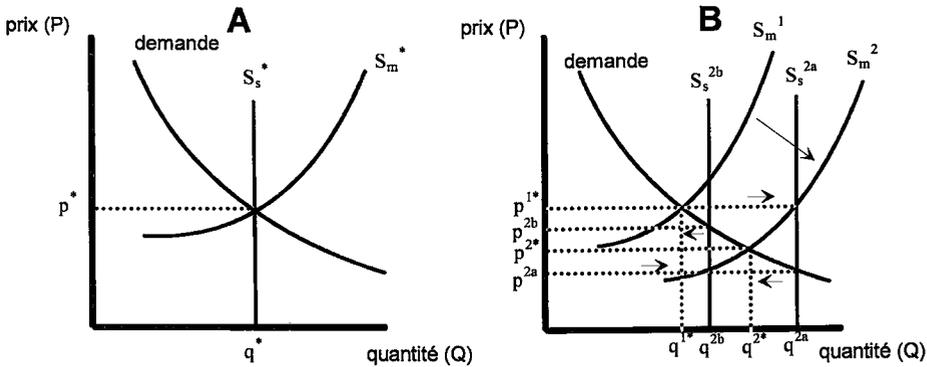


Figure 3.5. Représentation schématique de la procédure d'agrégation (Source : Bade *et al.*, 1997).

Notes : **La partie A** : montre la représentation graphique de la situation d'équilibre entre la courbe de la demande (D) et les courbes de l'offre à court (S_s^*) et moyen (S_m^*) termes.

La partie B : montre les déplacements survenus en matière d'écoulement des produits sur le marché du fait d'un changement de la courbe de l'offre à moyen terme. Ce changement du niveau de l'offre est lui-même induit par l'agrégation régionale de la production des produits de base.

3.6 Structure du modèle ménage-paysan

3.6.1 Principales composantes

Dans sa structure technique (Figure 3.5), le modèle ménage-paysan contient six modules²¹ :

- 1° le module de hiérarchisation des différents objectifs et aspirations,
- 2° le module de catégorisation des ménages-paysans,
- 3° le module des activités de production,
- 4° le module budget/consommation,
- 5° le module des prix,
- 6° le module d'épargne et investissement.

Module de hiérarchisation des différents objectifs des ménages-paysans

Les ménages-paysans ont des objectifs multiples et chaque objectif a son importance spécifique. Dans le cas du Cercle de Koutiala, les trois objectifs distincts qui ont été considérés sont la maximisation de l'utilité de consommation et du revenu net, et la durabilité exprimée en termes de bilan des éléments nutritifs. Une hiérarchisation des objectifs est toujours une nécessité car la priorisation établie varie selon le type de ménage-paysan, et l'environnement socio-économique dans lequel il se trouve. C'est au niveau du module de hiérarchisation que l'on détermine l'importance re-

²¹ Le module correspond à un compartiment du modèle qui contient des informations spécifiques (données techniques, agro-écologiques, socio-économiques, etc.)

lative de chaque objectif. Les valeurs (ou poids) assignés à chaque objectif indiquent la différence d'importance relative existant entre objectifs.

Module de catégorisation typologique des ménages-paysans

La catégorisation des exploitations est nécessaire, car le type d'unité de production est un indicateur très important dans l'analyse de l'économie des ménages-paysans. Les analyses de l'économie du ménage-paysan relatives à la production et à la consommation doivent donc se faire en fonction d'une typologie des ménages-paysans. Une autre raison non moins importante est que les effets des instruments politiques que les décideurs doivent appliquer varient selon le type de ménage-paysan. Concernant les *critères de catégorisation*, on note une forte corrélation entre le type d'unité de production et l'importance de la disponibilité en ressources (terre, main-d'œuvre, capital, bétail) et en équipement. Ainsi la typologie des exploitations se définit dans certains cas seulement sur la base des ressources disponibles (Leesberg *et al.*, 1990). La traction animale est aussi utilisée souvent comme critère de classification des ménages paysans. La taille (petite, moyenne, grande) de l'exploitation est aussi considérée souvent comme critère très important dans la catégorisation des ménages-paysans. Elle est assez déterminante pour le niveau, voir même la qualité de la production.

Les ménages paysans dans le Cercle de Koutiala ont été classifiés en quatre principaux types de ménage-paysan²² (A, B, C, D)²³ selon la typologie établie conjointement par le DRSPR et la CMDT en zone Mali-sud. Cette typologie a été basée essentiellement sur les critères équipement et possession d'un cheptel bovin. Les caractéristiques de chaque type de ménage-paysan selon ces critères sont donnés en détails au Chapitre 5 (Sous-section 5.3.1). Dans le cercle de Koutiala, ce sont les exploitations de type A et B qui prédominent par rapport au type C. Le type D est presque inexistant dans le Cercle de Koutiala et ne sera donc pas considéré dans les analyses avec le modèle ménage paysan.

Module des activités de production

Le rôle principal du module des activités de production est de permettre la liaison entre production et consommation, car les prises de décisions concernant la pratique de certaines activités de production par les ménages-paysans sont guidées par leurs objectifs de consommation (autoconsommation et sécurité alimentaire). Dans ce module, les ressources allouées ainsi que les quantités d'intrants investies par activité de production sont précisées. Il permet donc de calculer les paramètres des activités d'utilisation du terroir et de générer pour ces activités, les coefficients techniques des intrants et extrants, qui incluent les indicateurs indispensables à l'évaluation de la durabilité agro-écologique. En matière de durabilité, les décisions de production doivent inclure des paquets technologiques ayant des combinaisons équilibrées d'intrants (engrais, herbicides, main-d'œuvre, équipement) dont l'importance est déterminée selon le niveau d'extrait escompté. Le module des activités de production contient les options techniques de production et permet ainsi le choix d'une combinaison d'options techniques de production permettant d'atteindre les objectifs

²² Les termes ménage-paysan et unité de production agricole (UPA) sont considérés comme identiques dans cette typologie. Cependant le terme ménage-paysan a été choisi pour mettre l'accent sur le fait que l'aspect production aussi bien que consommation sont pris en compte dans les analyses avec le modèle MMP.

²³ Dans les analyses avec le modèle ménage paysan (MMP) au Chapitre 5, seuls les trois principaux types (A, B, C) ont été considérés, car le type D est très minoritaire dans le Cercle de Koutiala.

visés (maximisation du revenu, sécurité alimentaire). *Les options techniques de production* telles que définies dans le modèle se réfèrent aux systèmes actuels et aux systèmes alternatifs pour les différentes spéculations pratiquées dans le Cercle de Koutiala : céréales (mil, sorgho, maïs), légumineuses (niébé, arachide) et coton. La différence principale entre options techniques actuelles et options techniques alternatives durables est le bilan en fertilisants équilibré pour les options alternatives durables, contrairement aux options techniques actuelles non-durables qui ont bilan en fertilisants négatif et épuisent les sols. La définition des systèmes de production de cultures actuels est basée sur les données du suivi évaluation permanent du DRSPR-Sikasso (1993), et d'autres sources secondaires (van Duivenbooden *et al.*, 1990). Celle des systèmes alternatifs²⁴ se base sur des modèles de simulation de croissance des cultures et des références bibliographiques.

Les systèmes de production animale sont définis pour les troupeaux bovins et petits ruminants et les bœufs de labour (Hengsdijk *et al.*, 1996). La définition des systèmes de production animale a été basée sur des critères tels que : l'espèce animale et le niveau d'alimentation (Bakker *et al.*, 1996b). Concernant le niveau d'alimentation, il est lié au niveau de croissance des animaux et détermine les stratégies de vente.

La durabilité des systèmes de production agricole est exprimée en termes de bilan de carbone, en tenant compte du rapport entre le taux de recouvrement des éléments nutritifs (N, P, K) et le contenu en matière organique dans le sol. Les systèmes durables ont un bilan de carbone positif, contrairement aux systèmes non durables dont le bilan de carbone est négatif (Bade *et al.*, 1997).

Module budget de consommation

L'importance du module budgétaire se justifie par le fait que le niveau de revenu est un résultat des prises de décision du ménage-paysan concernant la production. Les dépenses liées à ce revenu sont fonction du niveau de consommation des produits. Le module budget de consommation contient ainsi la fonction d'utilité de consommation qui constitue la « **fonction-objectif** »²⁵.

Dans cette étude de cas du Cercle de Koutiala ce sont les données de l'enquête budget/consommation (DNSI, 1991) qui ont été utilisées pour les analyses des niveaux de consommation des différents produits par les ménages-paysans. Les coefficients d'élasticités de la demande par rapport au prix et par rapport au revenu de chaque type de produit consommé dans le ménage-paysan, permettent de faire la part entre niveaux de consommation de différents produits. Pour le cas par exemple des produits laitiers, l'étude socio-économique de l'acquisition/consommation des produits laitiers en zone périurbaine de Bamako (Debrah *et al.*, 1990) a montré que le niveau de consommation des produits laitiers varie en fonction des types de ménages urbains classés selon le niveau de leur budget familial. Les ménages riches avec un budget familial élevé consacraient plus de part du budget à la consommation de produits laitiers que les ménages pauvres. La demande des produits laitiers était donc très élastique par rapport au revenu en zone peri-urbaine de Bamako.

L'importance du module budgétaire est lié au fait que l'allocation du budget familial des ménages aux différentes dépenses est un processus assez complexe à cerner. L'étude de l'économie familiale des petits paysans en zone semi-aride du Mali (Debrah & Sissoko, 1990 ; Sissoko & Debrah, 1992) montre la complexité de la gestion du budget familial des ménages-paysans. Le budget familial, constitué des revenus de l'agriculture et de l'élevage et du revenu hors-ferme, est utilisé

²⁴ Les critères utilisés pour la description des options alternatives durables sont décrits dans le Chapitre 4 (Sous-section 4.5.2).

²⁵ Plus de détails sont donnés sur la fonction objectif dans la formulation mathématique du modèle ménage-paysan présentée en annexe II.

pour l'achat d'intrants et pour les dépenses familiales multiples. D'où l'importance du module budgétaire dans un modèle utilisé pour analyser les processus de production et de consommation de l'économie familiale des ménages-paysans.

Module des prix

Le module des prix contient les informations relatives au prix des intrants et extrants et au coût de transaction. Au niveau ménage-paysan, les prix des intrants et des extrants sont des paramètres qui influencent beaucoup les prises de décisions concernant la production aussi bien que la consommation. Au niveau macro ; les prix sont aussi des paramètres de prises de décision à la disposition des décideurs qui peuvent les utiliser pour des politiques d'incitation des paysans. Par exemple : l'augmentation des prix des extrants, et la politique de subventions des prix des engrais ; peuvent avoir un certain impact sur les comportements des ménages paysans en ce qui concerne l'adoption des options alternatives durables²⁶ (Chapitre 6).

Concernant les coûts de transaction ; dans la région sahélienne, avec une infrastructure peu développée, et une faible intégration des ménages paysans au marché, les coûts de transaction jouent un rôle très important (Goetz, 1992). Les coûts de transaction incluent les frais de transport sur le marché, les frais de conservation, de manutention, d'information sur le marché et tous autres frais de commercialisation. Les coûts de transport peuvent être calculés sur la base de la différence entre prix au producteur et prix du marché. Au Mali, il y a eut depuis quelques années la libéralisation des prix concernant notamment les produits vivriers (céréales, lait, viande, etc.) dont les niveaux de prix sont déterminés en fonction de la loi classique de l'offre (c'est-à-dire la production) et de la demande. Seul le coton en zone Mali-sud bénéficie de prix garanti dont le niveau est fonction des conditions du marché mondial.

Module d'épargne et investissement

Ce module d'épargne et d'investissement est assez important car la capacité et le niveau d'épargne et d'investissement sont les signes de la santé économique d'un ménage-paysan. Ce module permet d'analyser la liaison entre la capacité d'épargne et d'investissement des ménages-paysans et les processus de production et de consommation. Les décisions d'épargne et d'investissement sont distinguées en deux types : l'épargne permanente et l'épargne temporaire (Bade *et al.*, 1997). Le taux d'épargne permanent est estimé sur la base de la présence de capitaux, comme ces derniers reflètent les efforts d'épargne et d'investissement réalisés dans le passé. Les animaux sur pieds et l'équipement possédés ainsi que les investissements effectués dans les activités de production sont les capitaux utilisés pour une telle estimation.

La possibilité d'une *épargne permanente* diminue avec un bas niveau de revenu. Le niveau de revenu dépend à son tour de la disponibilité des facteurs de production. Les ménages-paysans donnent généralement la priorité à la consommation courante par rapport à une épargne permanente pour garantir une consommation future. Le coefficient d'épargne permanente est le plus souvent estimé sur la base du cheptel disponible qui constitue le capital le plus important dont dispose les ménages-paysans. L'*épargne temporaire* représente la part du revenu monétaire consacrée aux investissements à court terme, notamment les dépenses de consommation courante des ménages-paysans. Le taux d'épargne temporaire est aussi estimé sur la base des fluctuations du niveau de

²⁶ Les effets des mesures politiques sur les comportements des ménages paysans seront analysés au Chapitre 6.

revenu obtenu en année de pluviométrie normale par rapport au niveau de revenu obtenu en année sèche. Dans les analyses effectuées au Chapitre 5, seule l'épargne permanente a été estimée en évaluant la valeur des animaux sur pieds non productifs, comme élément du revenu brut total de production. Cette valeur contribuera au financement des investissements relatifs aux coûts des différentes activités de production.

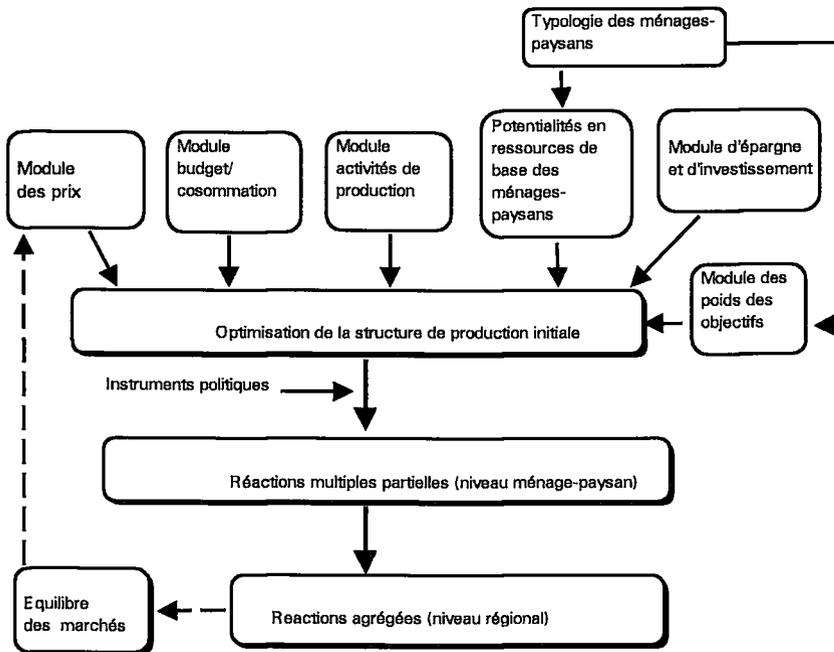


Figure 3.6. Structure du modèle ménage-paysan. (Source : Adapté de Bade *et al.*, 1997).

3.6.2 Intérêts et limites du modèle ménage-paysan

Intérêts du modèle ménage-paysan

L'intérêt principal du modèle ménage-paysan est qu'il constitue un instrument d'analyse efficace et approprié permettant d'explorer les effets des instruments de politiques (notamment les prix) sur les comportements des ménages-paysans. Les analyses avec le modèle des ménages fournissent des résultats qui expriment les réactions des ménages-paysans aux différentes modifications dans leur environnement économique, et permettent de juger l'impact de telle ou telle politique sur les prises de décision des ménages-paysans.

Les valeurs des changements exprimés en pourcentage des valeurs initiales (Chapitre 6, Tableau 6.5) des différents paramètres (revenu net, production, utilité de consommation, niveau de durabilité, taux d'adoption des options alternatives) constituent ainsi les principaux indicateurs permet-

tant d'exprimer en termes quantitatifs les réponses des ménages-paysans aux différents instruments de politiques. Concernant les effets des changements de prix, les résultats de quelques études en milieu sahélien (Kruseman *et al.*, 1994 ; Goetz, 1992 ; Budd, 1993) ont montré à travers les valeurs des coefficients d'élasticité, qu'il y a une faible intégration des paysans sahéliens au marché. Il existe cependant quelques spécificités. Par exemple au Mali, il y a une certaine intégration des paysans au marché en zone Mali-sud à cause de la culture de rente du coton ainsi que des éleveurs de la zone périurbaine de Bamako. Dans cette zone en effet, les résultats d'étude sur la consommation du lait (Debrah *et al.*, 1990b) donnent des coefficients d'élasticités revenus de la demande des produits laitiers assez élevés et variables selon les types de ménages urbains dans la ville de Bamako. Le modèle ménage-paysan génère des indicateurs des réponses des ménages-paysans aux effets des instruments de politiques. Sur cette base, on peut affirmer que l'approche modélisation des ménages-paysans offre une méthodologie pour mieux comprendre et orienter le rythme et la direction du développement régional en tenant compte de ces effets au niveau des ménages-paysans.

Limites du modèle ménage paysan

Une des premières limites du modèle ménage-paysan réside dans la *difficulté de cerner les comportements des ménages-paysans*. En effet, la mesure des effets des instruments de politiques sur les ménages-paysans a bien des limites, car les réactions des ménages-paysans sont souvent très abstraites, complexes et difficiles à cerner. Ceci peut limiter les effets de certains instruments de politiques. Il peut aussi avoir quelques *insuffisances structurelles et fonctionnelles* au niveau des différents modules qui constituent le modèle de base des ménages-paysans, qui méritent souvent d'être signalées et corrigées. Il s'agit par exemple de l'estimation de certains coefficients techniques au niveau du module des activités de production où pour les systèmes de production animale, il est par exemple utile de définir des menus alternatifs incluant des cultures fourragères pour diminuer la pression du bétail sur les parcours. Quand aux systèmes de production agricole, l'estimation des coefficients techniques doit prendre en compte, en plus de l'engrais ; la matière organique et ses différentes sources (fumier, compost des ordures et paille de maïs) utilisées par les ménages-paysans. Concernant le module des prix, l'analyse doit inclure les coûts de transactions pour mieux évaluer les effets sur l'amélioration de l'infrastructure. Le module de catégorisation des exploitations doit englober plusieurs types de ménages paysans. Dans le module de hiérarchisation des objectifs : l'examen de l'importance (ou poids) des objectifs doit se faire en tenant compte de l'assurance contre le risque.

3.7 Méthodologie générale de la planification d'un développement agricole durable

3.7.1 Exploration du futur et planification du développement agricole durable

En matière de planification du développement, les décideurs politiques au niveau régional aussi bien que national sont confrontés à un ensemble d'agrégats d'objectifs de développement diversifiés. Il y a en effet les objectifs de développement socio-économique (revenus et sécurité alimentaire) et environnementales (durabilité) et leur réalisation à court moyen et long terme. Parmi les différentes méthodologies d'investigation du futur, il y a les études prédictives, prévisionnelles

les et exploratoires dont les résultats peuvent aider les décideurs politiques à mesurer la taille de leurs ambitions et à déceler les mesures politiques appropriées pour les atteindre.

L'investigation du futur est une partie intégrante de la recherche appliquée pour la planification du développement, car en matière de développement :

- les résultats obtenus en un temps T2 sont souvent les fruits d'actions planifiées et réalisées en un temps T1,
- $T2 = T1 + N$,
- N est le nombre d'années nécessaire pour entreprendre les actions nécessaires et même les corriger pour les réorienter si nécessaire avant d'obtenir les résultats escomptés.

La planification du développement peut être ainsi définie comme un processus d'identification des interventions en partant de la situation actuelle vers une situation future désirée. Selon plusieurs auteurs il y a différentes manières d'investiguer le futur :

1. *Une première manière d'investiguer* le futur serait de démarrer à partir du présent et d'utiliser des techniques d'extrapolations tendanciennes, de corrélations tendanciennes, et des modèles économétriques prévisionnels.
2. *La seconde manière d'investiguer* le futur, est l'exploration des possibilités techniques extrêmes, basées sur une série d'hypothèses techniques réalistes, et des vues diversifiées sur la manière d'atteindre le futur (Hengsdijk & Kruseman, 1993). L'exploration des différentes situations futures possibles et sa relation avec la planification du développement est présentée à la Figure 3.6

La Figure 3.7 illustre qu'à partir du présent (A) on peut envisager le futur selon trois niveaux d'ambition politique au niveau régional ou national :

- sans prétendre à des changements véritables dans les objectifs de développement économiques et environnementales (*point B*) ;
- prétendre à des changements modérés dans les niveaux des objectifs de développement (*point C*) ;
- prétendre à des changements élevées dans les niveaux des objectifs de développement (*point D*) : *qui constitue ainsi une situation future désirée.*

C'est un objectif pour les décideurs politiques d'essayer d'être le plus prêt possible du point (D) qui constitue ainsi la situation future désirée. Dans cette étude de cas le scénario perspective (SPI) analysé au Chapitre 4 correspond à la situation désirée (point D) où les objectifs majeurs sont d'atteindre un revenu régional élevé, la sécurité alimentaire et la durabilité (absolue) des systèmes de production à long terme. La situation actuelle (A) considérée ici correspond aux résultats d'analyse pondérés des ménages-paysans (A, B, C) avec le scénario de base 1 (SB1).

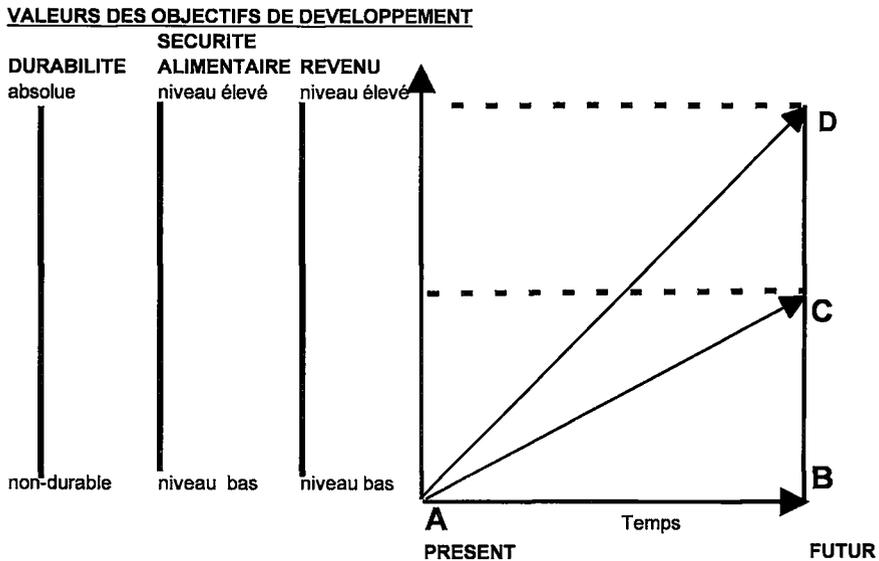


Figure 3.7. Exploration du futur et planification du développement agricole durable au niveau national et régional. (Source : Adapté de Hengsdijk & Kruseman, 1993).

3.7.2 Méthodologie d'analyse et de comparaison des résultats

Pour investiguer l'avenir du développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala, ce sont les deux approches et instruments analysés dans les sections précédentes qui ont été utilisées : le modèle régional et le modèle ménages-paysans. Dans le Tableau 3.2, quelques différences et similitudes ont été soulignées : (i) les besoins de consommation futurs de la population (2010) sont imposés comme restrictions à satisfaire dans le modèle régional, par contre dans le modèle ménage paysan, la fonction d'utilité de consommation est optimisée en tant que fonction objectif en relation avec le niveau de revenu ; (ii) ce sont les options techniques alternatives durables qui sont incluses comme pièces maîtresses des analyses dans le modèle régional, comparativement au modèle ménage paysan où ce sont les pratiques actuelles non-durables qui sont analysées ; (iii) les coûts de transaction ne sont pas pris en compte au niveau régional, mais sont pris en compte au niveau ménage-paysan²⁷. Les autres principales différences et similitudes sont résumées au Tableau 3.2.

Les principales étapes de la méthodologie d'analyse et de comparaison des résultats, adoptée dans ce sujet de recherche, se résument comme suit :

1. Le système de production intensif durable de l'agriculture mixte a été analysé au Chapitre 4 avec le modèle régional de programmation linéaire à buts multiples (PLBM) comme perspective d'un développement agricole durable futur dans le Cercle de Koutiala. Les résultats d'ana-

²⁷ L'hypothèse est qu'au niveau régional, les productions sont réalisées et commercialisées à l'intérieur de la région. Tandis qu'au niveau ménage-paysan, il y a un recours au marché pour l'écoulement des produits commercialisés qui nécessitent leur transport.

- lyse présentés au Chapitre 4 fournissent le système d'utilisation optimale des terres et le choix de la combinaison d'options techniques durables permettant d'atteindre un revenu régional maximum et la sécurité alimentaire.
2. Les systèmes actuels non-durables ont été analysés au Chapitre 5 avec le modèle ménage paysan en vue d'apprécier les niveaux de productivité ainsi que le niveau de durabilité pour chaque type de ménage-paysan. Les résultats obtenus et analysés dans le Chapitre 5, fournissent les systèmes d'utilisation des terres et la combinaison d'options techniques permettant la maximisation du revenu net et de la fonction d'utilité de consommation pour chaque type de ménage-paysan, en condition de non-durabilité.
 3. Les résultats obtenus par type de ménage-paysan sont estimés au niveau régional (Section 5.6) sur la base du nombre total de chaque type de ménage-paysan dans le Cercle de Koutiala, afin d'analyser la situation globale des systèmes d'utilisation des terres et le niveau de productivité en condition de non-durabilité.
 4. Une comparaison de ces résultats estimés au niveau régional est ensuite faite (Section 5.7) avec les résultats d'analyse du système de production durable (PLBM), concernant (Figure 3.7) : les systèmes d'utilisation des terres, les niveaux de production et de productivité, le niveau de revenu net par habitant, le niveau de durabilité.
 5. Les politiques qui doivent élaborer pour corriger les écarts entre les résultats de la situation actuelle non-durable et du scénario perspective, ont été définies et analysées dans le Chapitre 6, à travers les réactions des ménages-paysans. Le taux d'adoption des options alternatives durables au niveau ménage paysan a été induite à travers l'application de mesures politiques en vue de stimuler un développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala.
 6. L'effet de l'agrégation de la production de céréales au niveau régional sur l'équilibre du marché et le niveau de prix sont analysés (Sous-section 6.5.2) pour quelques mesures macro-économiques.

Les effets des politiques macro-économiques sur les ménages-paysans se manifestent aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la consommation, car ces deux paramètres sont fortement liés et s'influencent mutuellement, vu que les décisions relatives à ces deux sont prises par le même décideur, « le ménage paysan ». Des instruments de politique²⁸ comme les prix peuvent influencer les prises de décision concernant l'utilisation des terres au niveau paysan en les induisant par des changements de politiques (Kuyvenhoven, 1995).

La comparaison et le rapprochement le plus possible entre résultats obtenus au niveau régional et résultats au niveau ménage paysan (MMP) sont des options très appropriées pour une formulation efficace de la politique de développement durable. Car la réduction de l'écart entre les deux niveaux permettra de mieux étudier les effets des politiques sur les prises de décisions des ménages-paysans en matière de production et de consommation. Les objectifs de développement à l'échelle régionale ou nationale sont assez diversifiés et complexes, et souvent contradictoires, vu la diversité des acteurs du développement (paysans, décideurs régionaux et nationaux). Il est donc nécessaire de formuler des options politiques adéquates pour réduire la tension entre objectifs à court terme des paysans et objectifs à long terme des décideurs politiques. Ces options politiques permettront de mieux coordonner et rendre efficaces les actions de développement au niveau régional ou national.

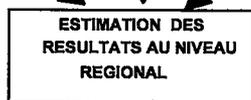
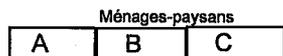
²⁸ La chaîne de réactions des effets des instruments de politiques a été décrite en détails au chapitre 2 (Figure 2.5).

Tableau 3.2. Méthodologie générale de la planification d'un développement agricole durable.

	SYSTEMES NON-DURABLES	SYSTEME INTENSIF DURABLE
INSTRUMENTS D'ANALYSE	Modèle ménage paysan	Modèle régional (PLBM)
HORIZON D'ANALYSE	Présent (court terme)	Futur (perspective long terme)
ECHELLES D'ANALYSE	Niveau ménage paysan (A, B, C)	Niveau régional (Cercle Koutiala)
SCENARIOS ANALYSES	Scénario de base 1 (SB1)	Scénario perspective (SPI)
• Fonction-objectif	Maximisation du revenu net et de l'utilité de consommation	Maximisation du revenu régional
• Principales contraintes/restrictions	- Disponibilité en ressources et équipement (Besoin \leq Disponibilité)	- Disponibilité en ressources ($B \leq D$). - Garantie des besoins de consommation futurs
• Conditions d'analyse	- Pluviométrie année normale - Prix actuels (intrants, extrants) - Coûts de transaction (intrants, extrants)	- Pluviométrie année normale - Prix actuels (intrants, extrants) et analyse de sensibilité - Condition de durabilité absolue
• Eléments du modèle		
• Ressources	- Terres (types de sol) - Population actuelle (taille de famille ménage-paysan) - Capital (crédit intrants)	- Terres (types de sol) - Population future 2010 - Capital (crédit intrants)
• Options techniques de cultures	pratiques actuelles non-durables	pratiques alternatives intensives et durables
• Options techniques d'élevage	pratiques d'élevage extensives et semi-intensives	pratiques d'élevage intensif basés sur la supplémentation du bétail

Modèle ménage paysan (MMP)

Analyse systèmes non-durables

**COMPARAISON**

modes d'allocation des terres
niveaux de production
niveaux de revenus
niveaux de durabilité

Modèle régional de Koutiala (MRK)

Analyse système intensif durable

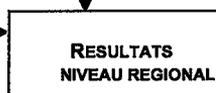
**SYSTEMES ACTUELS
NON DURABLES****SYSTEME
INTENSIF
DURABLE****QUELLES
MESURES POLITIQUES ?**

Figure 3.8. Méthodologie d'analyse et de comparaison des résultats.

Remarque : Les annexes (3.1 et 3.2) relatifs à la formulation mathématique du modèle régional et du modèle ménage-paysan sont situés à la fin du document.

4 Perspectives d'un développement agricole durable

4.1 Introduction

La dégradation des ressources naturelles a été largement abordée (Chapitres 1 et 2) comme contrainte majeure de développement agricole pour l'ensemble des pays de l'Afrique subsaharienne. Au Mali, la spécificité et l'acuité du problème a été démontrée pour le Cercle de Koutiala qui constitue une zone où la pression sur les terres est très forte entraînant leur épuisement. D'où la nécessité d'analyser des systèmes de production intensifs durables susceptibles d'être adoptés en milieu paysan. Dans ce chapitre, les perspectives d'une agriculture durable dans le Cercle de Koutiala sont analysées à l'aide du modèle régional (décrit au Chapitre 3), qui est utilisée comme instrument d'aide à la prise de décision dans la gestion durable des ressources naturelles. Pour explorer les perspectives d'une agriculture durable dans cette région, cinq points seront abordés dans ce chapitre : (i) la description des ressources et de la situation socio-économique du Cercle de Koutiala comme préalable au processus de modélisation (*Section 4.2*) ; (ii) la formulation d'un scénario de base autour duquel s'articulera une stratégie de développement agricole appropriée et durable (*Section 4.3*) ; (iii) l'analyse du concept de durabilité et des différents niveaux de durabilité définis (*Section 4.4*) ; (iv) l'analyse de l'utilisation des terres et de la pratique d'une agriculture durable dans le contexte du scénario de base (*Section 4.5*) ; et (v) les analyses de sensibilité du scénario de base aux effets de variation des conditions de durabilité.

La démarche suivie est de définir tout d'abord un scénario <<perspective>> de développement permettant d'une part de satisfaire les besoins des populations à court, moyen et long terme, et de préserver d'autre part la durabilité des systèmes de production agricole. Le concept de durabilité tel que pris en compte dans les options techniques définies sera explicité. La durabilité est en effet l'un des principaux aspects abordés dans cette recherche. Le scénario d'un développement agricole durable sera ainsi analysé comme perspective dans ce chapitre, en vue de faire une comparaison avec la situation actuelle (Chapitre 5) et d'aborder la question fondamentale, à savoir : *comment passer des systèmes de production non durables actuellement pratiqués par les paysans (avec épuisement des sols) à des systèmes plus durables ?*

4.2 Ressources et situation socio-économique du Cercle de Koutiala

Le Cercle de Koutiala fait partie de la 3ème région administrative du Mali, (région de Sikasso) et est partie intégrante de la zone communément appelée Mali-Sud (Carte 1.1, Chapitre 1). Il est délimité au Nord par les Cercles de San et Bla (Région de Ségou), au Sud par le Cercle de Sikasso et le Burkina Faso, à l'Est par le Cercle de Yorosso et à l'Ouest par le Cercle de Dioila. D'un relief peu accentué, il s'étend sur une superficie de 9100 km². Selon le découpage administratif, il comprend une commune et 6 arrondissements : l'arrondissement central, et ceux de M'Pessoba, Zangasso, Molobala, Kouniana, et Konséguela. Il est situé à la limite sud de la zone soudano-sahélienne du Mali et le climat est de type soudano-sahélien au Nord et soudanien au Sud avec une seule saison pluvieuse qui s'étale de Mai à Octobre, avec un nombre de jours de pluie qui varie de 38 à 72 (CMDT, 1994) et une pluviométrie moyenne annuelle de 980 mm an⁻¹ (Sivakumar *et al.*,

1984). La température moyenne annuelle est de 30 degrés environ. Les données pluviométriques annuelles pour la période 1986 à 1992 sont indiquées au Tableau 4.1.

4.2.1 Ressources humaines : population et main-d'œuvre

La population du Cercle de Koutiala est de 286244 habitants, soit une densité moyenne d'environ 31 hbts km⁻² (BCR, 1991)²⁹. Cette population à vocation agro-pastorale, est composée essentiellement des ethnies Minianka et Bobo. L'accroissement de la population est de près de 3% par an, donc plus forte que la moyenne nationale (2%). La population est constituée à majorité de ruraux, 85% environ travaillant essentiellement dans le secteur primaire, et 15% de citadins essentiellement dans la commune de Koutiala (PIRL, 1987). L'estimation de la population par groupes d'âge indique une proportion de 55%, 5% et 40%, respectivement pour les tranches d'âge de moins de 18 ans, de 18 à 21 ans et de 21 ans et plus (Sissoko *et al.*, 1998). La disponibilité en main d'œuvre dépend de la population et de la proportion d'actifs. Cette proportion a été estimée à 55%, en se basant sur les données présentées par Veeneklaas *et al.* (1991).

Tableau 4.1. Hauteur et nombre de jours de pluie par poste pluviométrique et par an dans le Cercle de Koutiala.

année	postes	Koutiala		M'pessoba		Molobala		Zebala	
		mm	jours	mm	jours	mm	jours	mm	jours
1986		835	63	1043	50	901	52	855	56
1987		704	68	846	50	715	48	712	44
1988		893	71	773	51	1015	66	857	50
1989		633	64	688	49	740	49	865	53
1990		913	67	618	41	732	60	471	38
1991		843	67	688	54	795	55	767	52
1992		671	72	621	53	649	62	770	56

Source : Camara, 1995

4.2.2 Ressources en terres

Types de sols

La classification des principaux types de sols dans le Cercle de Koutiala a été faite selon la méthodologie utilisée par le projet Production Soudano-Sahélienne pour la caractérisation générale des principaux substrats en zone soudano-sahélienne du Mali (Quak *et al.*, 1996). Cette caractérisation est elle-même basée essentiellement sur l'analyse des ressources pédologiques du Mali déjà effectuée par le Projet Inventaire des Ressources Terrestres dans trois principaux documents à savoir : l'atlas, le rapport technique et les annexes (PIRT, 1983a, b, c).

Dans la classification du PIRT d'une manière générale, 68 unités sol-végétation ont été distinguées au Mali et réparties en 10 grands groupes : les dunes mortes (D), les dunes aplanies (DA), les plaines avec matériaux argileux (PA), les plaines avec matériaux limoneux fins (PL), les plaines avec

²⁹ Selon le recensement national de la population en 1987, publié en 1991, par le bureau central du recensement.

matériaux limoneux-sableux (PS), les terrains sur cuirasse latéritique (TC), les terrains hydromorphes, faiblement ou non inondés (TH), terrains inondés (TI), terrains rocheux (TR), terrains spéciaux (X).

Dans cette caractérisation générale, un niveau de description des substrats, aussi détaillé que celui du PIRT n'a pas été utilisé. Seules certaines caractéristiques des sols ont été retenues à cause surtout de leur influence sur la quantité d'eau disponible pour la culture. Il s'agit de la texture, la profondeur, la présence de gravillons et l'aptitude à être inondé (Quak *et al.*, 1996). C'est sur cette base que les 68 unités sol-végétation du PIRT ont été regroupées en 18 types de sols aptes à la production primaire et deux substrats non-utilisables pour ce but (roches et surfaces d'eau). Parmi ces 18 types de sols, six ont été répertoriés dans le Cercle de Koutiala (Tableau 4.2) : les sols d'écoulement (EC), gravillonnaires (GR), gravillonnaires superficiels (GR-su), limon-argileux (LIAR), limoneux (LIMO), et limon-sableux fins (LISA-f).

- **Les sols d'écoulement (EC)** sont caractérisés par la présence d'eau d'écoulement avec une capacité d'infiltration assez élevée. Ils correspondent aux quelques «TI» (terrains inondés) et aux «TH» (terrains hydromorphes) du Projet Inventaire des Ressources Terrestres. Ce type de sol représente 3% de la superficie totale du Cercle.
- **Les sols gravillonnaires (GR)** sont peu profonds et contiennent assez de gravillons et appartiennent aux substrats «TC» (terrains sur cuirasse) et «TR» (terrains rocheux) du PIRT. Ce type de sol représente 21% de la superficie totale.
- **Les sols gravillonnaires superficiels (GR-su)** appartiennent aussi aux substrats «TC» (terrains sur cuirasse) et «TR» (terrains rocheux) du PIRT. Ils sont impropres à la culture car leur profondeur nulle ou insignifiante les rend inapte à toute forme d'agriculture. Ce type de sol est le plus prédominant dans le Cercle de Koutiala avec 41% de la superficie totale.
- **Les sols limon-argileux (LIAR)**, sont des sols lourds recevant de l'eau de ruissellement. Ce type de sol représente 27% de la superficie totale.
- **Les sols limoneux (LIMO)** se trouvent aussi sur les pentes pour la plupart et ont par conséquent un risque de ruissellement. Ils représentent 5% de la superficie totale du Cercle.
- **Les sols limon-sableux fins (LISA-f)** représentent 3% de la superficie totale du Cercle.

La majeure partie du Cercle de Koutiala (62%) est donc occupée par des sols gravillonnaires (GR et GR-su) peu aptes aux cultures, et qui de leur position et de leur profondeur, sont menacés par un épuisement chimique rapide, un ruissellement et un drainage horizontal fort. Quant aux sols d'écoulement et aux sols limon-argileux, ils reçoivent de l'eau de ruissellement dans leur position en aval des sols gravillonnaires.

Tableau 4.2. Types de sols répertoriés dans le Cercle de Koutiala : codes et correspondances avec la classification PIRT.

Type de sol	Code	Correspondance avec substrat PIRT	Superficie totale	
			(km ²)	(%)
1. sols d'écoulement	EC	TH 2, 3, 6-8 ; TI 3, 5	296	3
2. sols gravillonnaires	GR	TC 1-4, 6 ; TR 1,2, 4, 7, 8	1918	21
3. sols gravillonnaires superficiels	GR-su	TC 5 ; TR 9	3721	41
4. sols limon-argileux	LIAR	PA 2 ; PL 9, 13 ; PS 2	2430	27
5. sols limoneux	LIMO	PA 1, 3 ; PL 3, 7, 8, 10-12 ; TH 1,4 ; X1	428	5
6. sols limon-sableux fins	LISA-f	PL 1,2,4-6 ; PS 1, 3 ; TC 7 ; TH 5	282	3
Total			9075	100

Caractéristiques des types de sols

Les caractéristiques considérées pour la classification des principaux types de sol au niveau du Cercle de Koutiala (Tableau 4.3) sont : la texture, la profondeur, la capacité de rétention d'eau, la capacité d'infiltration, la perméabilité, la structure, la pente et le taux de matière organique.

Tableau 4.3. Caractéristiques des types de sols distingués dans le Cercle de Koutiala.

Caractéristiques :	unité	EC	GR	GR_su	LIAR	LIMO	LISA_f
<i>Profondeur</i>	cm	200	46	18	200	200	200
<i>Pente</i>	%	2	3	4	2	2	2
<i>Texture sous-sol</i>							
sable (50-2000 µm)	%	23	19	11	35	12	58
LIMOn (2-50 µm)	%	40	16	11	37	58	17
argile (< 2 µm)	%	37	11	4	29	30	25
gravillon	%	0	54	75	0	0	0
<i>Texture couche supérieure</i>							
sable (50-2000 µm)	%	28	54	26	60	40	63
LIMOn (2-50 µm)	%	52	27	26	29	42	27
argile (< 2 µm)	%	20	10	10	11	18	10
gravillon	%	0	9	38	0	0	0
<i>Caractéristiques hydriques sous sol</i>							
capacité au champ	mm m ⁻¹	407	138	77	348	461	231
point de flétrissement	mm m ⁻¹	215	58	24	167	174	145
<i>Caractéristiques hydriques couche supérieure</i>							
capacité au champ	mm m ⁻¹	382	226	309	222	321	211
point de flétrissement	mm m ⁻¹	120	69	92	68	109	65
<i>Plan infiltration</i>							
capacité d'absorption initiale	mm min ⁻⁵	0.0	4.6	3.1	4.6	3.1	4.6
capacité d'absorption finale	mm min ⁻⁵	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
capacité de stockage	mm	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Caractéristiques chimiques</i>							
pH couche supérieure		5.8	5.7	5.3	5.5	6.6	6.3
pH couche sous-sol		6.2	5.2	6.3	5.2	6.1	5.8
P total dans le sol	mg kg ⁻¹	125	100	100	125	100	110
K assimilable dans le sol	mg kg ⁻¹	100	50	50	100	75	75
fixation de P (M=moyen., F=faible)		M	M	F	M	M	M
taux de matière organique à maintenir	%	2.2	1.3	1.7	1.3	1.9	1.2
inondation (N=non, O=Oui)		N	N	N	N	N	N
<i>Données pour formule de Wischmeier</i>							
perméabilité*		5	4	4	4	5	3
structure#		3	3	2	4	3	4
contouring : P facteur (billons simple)		0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
tolérance de perte par érosion	t ha ⁻¹ an ⁻¹	10	5	3	10	10	10

* Perméabilité : modérée (3), lente à modérée (4), lente (5)

Structure : polyédrique (2), polyédrique moyen à grossier (3), et colonne feuilletée ou massive (4).

Types de sols : EC (sols d'écoulement), GR (gravillonnaires), Gr-su (gravillonnaires superficiels), LIAR (limon-argileux), LIMO (limoneux), LISA-f (limon-sableux fins).

Source : Quak *et al.*, 1996.

Texture

La texture a été utilisée comme critère de classification des sols car c'est elle qui détermine en grande partie la capacité d'infiltration et la capacité de rétention d'eau. Une distinction a été faite entre la texture de la couche supérieure et celle du sous-sol. La texture de la couche de sous-sol de profondeur variable, détermine la capacité de rétention d'eau du sol, car c'est elle qui contient le plus grand réservoir d'eau, comparativement à la couche supérieure de faible profondeur. La texture de la couche supérieure est aussi considérée comme un critère important de classification à cause de son effet important sur la capacité d'infiltration. La texture des principaux types de sols dans le Cercle de Koutiala, a été exprimée en pourcentage de particules (sable, limon, argile) sur la base des principaux groupes texturaux du diagramme triangulaire de la texture des sols (PIRT, 1983b, c).

La présence de gravillons dans les sols a été aussi considérée comme un critère important de classification, car la fraction de gravillons influence la capacité de rétention d'eau des sols, en déterminant leur teneur hydrique gravimétrique à la capacité au champ. Les types de sols gravillonnaires (GR et GR-su) qui représentent 62% de la superficie totale du Cercle de Koutiala ont un taux de gravillons (exprimé par rapport à 1 kg de poids du sol) de 54% et 75% dans le sous-sol, et 9% et 38% dans la couche supérieure respectivement (Tableau 4.3), ce qui les rend impropres à l'agriculture.

Profondeur

La profondeur d'enracinement des cultures détermine le niveau de disponibilité d'eau pour les cultures. La majorité des substrats identifiés dans le Cercle de Koutiala (Tableau 4.3), ont une profondeur d'enracinement d'au moins 2 m. Mais les substrats gravillonnaires ont des faibles profondeurs d'enracinement (18 à 58 cm) qui limitent considérablement la disponibilité en eau.

Capacité de rétention d'eau

La capacité de rétention d'eau est mesurée selon la quantité d'eau utile pour les plantes, équivalente à la quantité retenue à la capacité au champ (PF = 2.5) moins la quantité retenue au point de flétrissement (PF = 4.2). Ces deux quantités sont déterminées sur la base de la relation donnée par Brouwers & Kéita (1976) qui tient compte des teneurs en sable et argile, selon les équations :

$$TEC = (36.97 - 0.35 * S) * DS * DE * 10 \quad (4.1)$$

$$TEF = (0.74 + 0.39 * A) * DS * DE * 10 \quad (4.2)$$

$$EUT = TEC - TEF \quad (4.3)$$

Où :

- TEC = teneur en eau à la capacité au champ (mm)
- TEF = teneur en eau au point de flétrissement (mm)
- EUT = eau utile pour les plantes (mm)
- S = pourcentage en sable
- A = pourcentage en argile
- DS = densité spécifique moyenne des sols (1.4 kg dm⁻³)
- DE = densité spécifique de l'eau (1 kg dm⁻³)

Les capacités au champ et les points de flétrissement des types de sols distingués sont présentés au Tableau 4.3.

Capacité d'infiltration

Parmi tous les processus qui contribuent à la variation du stock d'eau dans le sol, l'infiltration de l'eau dans le sol est l'élément le plus déterminant (Stroosnijder & Koné dans Penning de Vries & Djitéye, 1991). L'eau entre dans le sol sous l'action d'une part d'une force dite de gravité et d'autre part d'une force d'absorption matricielle pratiquée par les pores du sol. Cette dernière force matricielle correspond à la capacité d'absorption du sol, qui est une caractéristique principale du sol déterminant ainsi la vitesse de pénétration de l'eau dans le sol. La vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol donné n'est pas une valeur constante, mais variable dans le temps, car grande au début d'une pluie, elle diminue dans le temps à cause du fait que la capacité d'absorption du sol est grande si le sol est sec et diminue jusqu'à zéro si le sol devient saturé. En effet elle dépend également de l'état d'humidité du sol au début d'une pluie. La vitesse d'infiltration diminue rapidement pendant les premières minutes de la pluie et atteint ensuite un niveau pratiquement constant.

Quant à la force de gravité (ou pesanteur), elle a de l'importance lorsque la pluie dure longtemps et qu'en surface le sol est pratiquement saturé d'eau. Pour les pluies plus courtes (moins de 30 min.), il existe un rapport pratiquement rectiligne entre la quantité d'eau infiltrée (I en mm) et la racine carrée du temps écoulé depuis le début de la pluie (\sqrt{t} , t en min.). L'inclinaison de la droite est définie comme d'absorption du sol (S en mm par racine carré du temps). Dans les situations où l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration, la quantité d'eau infiltrée (I en mm) est égale à la valeur intégrée de la capacité d'infiltration. La quantité d'eau infiltrée peut alors être décrite à l'aide de la capacité d'absorption du sol (S) et de la durée de la pluie t :

$$I = S \times \sqrt{t} \quad (4.4)$$

La force matricielle est fonction de la densité de tassement du sol et de la densité spécifique des particules du sol. L'influence de la force matricielle est appelée sorptivité et indique jusqu'à quel point le sol absorbe l'eau, si la succion matricielle est la principale force qui s'exerce (van Keulen & Wolf, 1986). Une distinction a été ainsi faite entre *capacité d'absorption initiale* et *capacité d'absorption finale*. La capacité d'absorption initiale est déterminée par la combinaison de la force matricielle et des forces de gravité, tandis que la capacité d'absorption finale est déterminée par les forces de gravité uniquement. Concernant les données sur la capacité d'absorption ou sorptivité et la capacité de stockage, ce sont les valeurs moyennes indiquées par Breman & De Ridder (1991) pour les différentes classes texturales des couches supérieures des sols, qui ont été considérées. Les sols situés en bas des toposéquences (EC) reçoivent de l'eau de ruissellement. Le ruissellement sur ce type de sol n'a pas été calculé sur la base de la capacité d'infiltration, mais l'apport d'eau de ruissellement a été fixé à 25% de la pluviométrie annuelle.

Perméabilité et structure

L'érosivité d'un type de sol donné, selon Wischmeier (dans Roose, 1977), dépend non seulement de sa texture et de son taux de matière organique, mais aussi de sa perméabilité et de sa structure. Six classes de perméabilité ont été ainsi distinguées (Wischmeier & Smith, 1960) : rapide (1), modérée à rapide (2), modérée (3), lente à modérée (4), lente (5), et très lente (6). Concernant la structure, quatre classes ont été distinguées avec des coefficients différents : grumeleux (1), finement polyédrique (2), polyédrique moyen à grossier (3), et colonne feuilletée ou massive (4). La classification de la perméabilité a été faite à partir des données sur la conductibilité et celle de la structure à partir des descriptions de la structure des couches supérieures (PIRT, 1983a, b, c). Les valeurs pour les différents types de sols sont présentées au Tableau 4.3.

Pente

La pente indique le risque d'érosion d'un sol, qui augmente fortement avec sa déclivité. La pente par substrat (Tableau 4.3) a été estimée sur la base des moyennes pondérées des pentes des substrats PIRT correspondants (Tableau 4.2).

Taux de matière organique

La teneur du sol en matière organique joue un rôle essentiel dans la dynamique des éléments nutritifs du sol (Jones, 1976 ; de Ridder & Van Keulen, 1990 ; Bationo & Mokwunye, 1991). Les teneurs courantes en matière organique des sols sahéliens sont assez faibles (de l'ordre de 0.5%), à cause des conditions agro-écologiques (température, pluviométrie) et des pratiques érosives du passé. Ces valeurs sont donc faibles pour supporter un système agricole à haute productivité. Ainsi pour déterminer la teneur en matière organique pouvant supporter un système agricole à haute productivité au niveau d'un type de sol donné, l'équation de Feller *et al.* (1991) a été utilisée. En effet c'est pour estimer la teneur en matière organique dans des sols non dégradés que ces auteurs ont recherché et établi la relation entre le taux d'argile et celui de matière organique (équation 4.5), pour plusieurs types de sols cultivés (sans jachère de plus de 5 ans, et sans amendements organiques). Ils ont découvert que dans certaines conditions agro-climatiques (600-3000 mm), la teneur en matière organique des sols cultivés dépendait beaucoup plus largement de la texture du sol que des conditions climatiques. Les valeurs présentées au Tableau 4.3, ont été estimées selon cette relation présentée dans l'équation 4.5. Les taux estimés sont relativement supérieurs aux taux actuels, mais ils sont considérés comme des *taux cibles* qui doivent être obtenues et maintenues dans un système agro-écologique durable pour une perspective d'exploration des possibilités futures d'utilisation des terres.

$$MO = (1.32 + 0.28 * (A + S)) / 5.8 \quad (4.5)$$

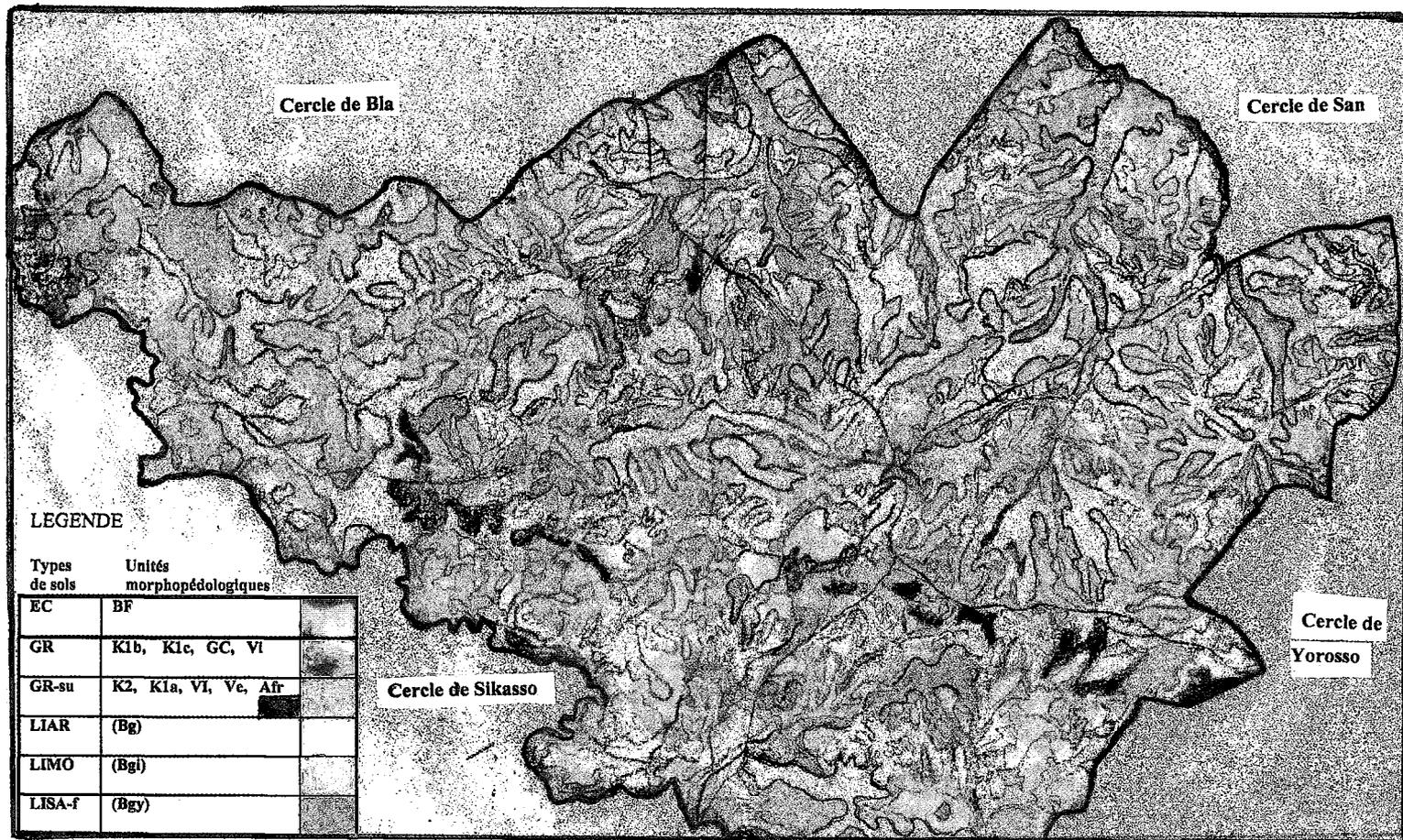
Où :

MO = teneur cible en matière organique (en g g⁻¹)

ARG = taux d'argile dans la couche supérieure (en g g⁻¹)

SAB = taux de sable fin dans la couche supérieure(en g g⁻¹)

L'étude de toposéquence typique des sols du Cercle de Koutiala a été aussi réalisée par le Laboratoire des Sols (Kéita *et al.*, 1994). Cette étude a aussi décrit en détails les différents types de sols existant dans le Cercle avec leurs aptitudes spécifiques. La correspondance entre la classification adoptée et les unités morphopédologiques décrites dans cette étude a été établie et présentée sur la Carte 4.1.



Carte 4.1. Principaux types des sols dans le Cercle de Koutiala (Source : adaptée de Kéita *et al.*, 1994).

4.2.3 Ressources sylvicoles

Au Mali, d'une manière générale les zones centres (soudano-sahéliennes) et sud sont les plus frappées par le déboisement du à l'exploitation abusive des ligneux pour satisfaire les besoins de consommation en milieu rural aussi bien qu'en milieu urbain où existent de centres de consommation importants de bois de feu. Cette situation est liée au fait que le bois de feu constitue la principale source d'énergie domestique utilisée pour la cuisine. La surexploitation s'explique ainsi par les flux commerciaux existants entre zones boisées et centres de consommation urbains.

Dans le Cercle de Koutiala en particulier, il y a un déboisement abusif des terres avec la progression vertigineuse des superficies cultivées notamment celles du coton. Il n'existe que quelques sites de bois mort situés à plus de 30 km de la ville de Koutiala. Les paysans s'attaquent de plus en plus aux espèces protégées (Néré, Karité, etc.). Il y a une ruée sur le potentiel ligneux qui doit être atténuée par une plus grande sensibilisation des populations et une plus grande rigueur dans l'application du code forestier. La nécessité d'intégrer la sylviculture dans la planification du développement est donc une nécessité impérieuse pour freiner l'exploitation abusive des ressources ligneuses dans le Cercle de Koutiala. Dans cette étude la distinction a été faite entre ressources ligneuses des pâturages naturels, et ressources sylvicoles à vocation de production de bois.

Dans le Cercle de Koutiala, plusieurs actions ont déjà été entreprises en matière de sylviculture concernant notamment la protection et l'aménagement des forêts classées et le reboisement à travers la promotion des plantations villageoises. Il y a trois grandes forêts classées dans le Cercle de Koutiala (Tableau 4.4) à Zangasso, M'Pessoba et Koba ; soit une superficie totale de 9638 hectares. Elle est réalisée à travers des bosquets villageois et a pour objectif majeur d'aménager l'espace et sécuriser la consommation des populations en bois à moyen et long terme. Il y a un bosquet au niveau de chaque village du Cercle avec une superficie variant de 0.25 à 0.50 ha (Chef cantonnement forestier de Koutiala, comm. pers. res.). L'*Eucalyptus camaldulensis* est l'espèce dominante. Le Nîmes et le melina se retrouvent dans quelques villages. Il y a eut quelques projets concernant le reboisement tels que le projet Suisse dénommé Projet forestier de la Région de Sikasso (PFRS). Le Projet d'Appui à la Foresterie Malienne (PAFOMA) pour une gestion durable des ressources naturelles à réaliser des plantations qui constituent des sources de revenus pour les populations ayant pris en charge leur gestion. Il y a eut des actions d'agroforesterie avec la promotion de quelques espèces locales comme brise-vent. La superficie totale des systèmes sylvicoles dans le Cercle de Koutiala est évaluée à près de 97 km², soit environ 1% de la superficie totale (Tableau 4.4).

Tableau 4.4. Importance des systèmes sylvicoles dans le Cercle de Koutiala.

	superficie (ha)	volume ha ⁻¹ m ⁻³
Forêts classées :		
Zangasso	4500	13.97
M'Pessoba	1638	11.37
Koba	3500	9.34
Total	9638	34.68
Plantations villageoises	87	-
Total (systèmes sylvicoles)	9725	-

Source : Estimations sur la base des données du cantonnement forestier de Koutiala et de la direction régionale des Eaux & Forêts/Sikasso (1996).

4.2.4 Environnement socio-économique et institutionnel

Services de développement : recherche, vulgarisation, crédit et épargne

En matière d'encadrement du monde rural pour la formation et la vulgarisation, la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT) est la principale structure qui couvre l'ensemble du Cercle. Les autres services de développement sont dans les domaines de l'élevage, de la foresterie et de l'organisation des paysans (centre d'action coopérative). La recherche agronomique dans le Cercle est menée principalement par l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles de Sikasso ainsi que la station de Recherche Agronomique de N'Tarla. Au sein de la CMDT, les projets « lutte anti-érosive » et « Femmes et Développement » sont aussi des structures de recherche-développement, dans le domaine de la lutte contre l'érosion et la dégradation des sols, et du soutien au rôle des femmes dans le développement rural. Il y a quelques projets dont les actions sont spécifiquement orientées vers la gestion des ressources naturelles au niveau terroir villageois. Il s'agit notamment du Projet Gestion des Terroirs (PGT). Les organisations non gouvernementales (ONG) actives dans le Cercle sont : Vision Mondiale, Action Internationale contre la Faim et le Centre International de Développement et de Recherche (CIDR). Les principales structures de crédit dans le Cercle sont : la CMDT et la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA) qui allouent des crédits aux paysans dans le cadre de l'achat d'équipement et d'intrants. Dans les domaines de la mobilisation de l'épargne rurale, il y a la Caisse d'épargne et de crédit rural appelée « Kafo Jigenè », la Banque Malienne de Développement (BDM) et la Banque Internationale pour le Mali (BIM).

L'ensemble des actions de développement du Cercle est coordonné par le Comité Local de Développement (CLD), présidé par le commandant de Cercle. Le comité local de développement joue un rôle important dans les prises de décision concernant les actions de développement au niveau du Cercle. La dynamique des interrelations entre différents niveaux hiérarchiques, sera abordée dans la Sous-section 4.3.1 sur la problématique du choix des objectifs de développement.

Marchés ruraux

Les marchés ruraux dans le Cercle constituent des débouchés pour l'écoulement des extrants (bétail, produits agricoles) et des centres d'approvisionnement en intrants. Le plus important est celui de la ville de Koutiala. Ils existent quatre autres marchés ruraux à Molobala, M'Pessoba, N'Togonasso et Sadiola. Pour le bétail N'Togonasso est le marché à bovins le plus important, celui de Koutiala est le plus important pour les petits ruminants (Dembélé, 1995). Sur les marchés, les transactions commerciales ne se limitent pas seulement aux animaux, mais concernent aussi les produits agricoles, car le Cercle de Koutiala est une zone de forte production de mil, de sorgho et de maïs. Cependant, signalons que la zone est assez éloignée des marchés urbains de Sikasso, Ségou, Mopti et Bamako qui constituent les principales concentrations de consommateurs.

Organisation du monde rural

L'organisation du monde rural dans le Cercle est à un stade très avancé par rapport à d'autres zones du Mali. Les multiples organisations paysannes jouent un rôle important dans l'approvisionnement en intrants et dans l'écoulement des produits. La forme d'organisation la mieux structurée et la plus avancée est appelée « ton villageois ». L'Association Villageoise (AV) est une structure transitoire

vers le « ton ». On dénombre au total, 20 tons villageois, 345 associations et 14 coopératives (CLD, 1994). Ils existent aussi au niveau de tout le Cercle un syndicat des producteurs de coton et de vivriers (SYCOV) et une délégation de la Chambre Nationale d'Agriculture qui est une structure représentative de tout le monde paysan (agriculteurs, éleveurs, pêcheurs et bûcherons) vis-à-vis de l'Etat. Des groupements villageois de producteurs laitiers ont été créés par l'ONG-CIDR qui a mis en place une laiterie à Koutiala pour promouvoir la production de lait dans la commune et sa périphérie, en vue d'améliorer les revenus des éleveurs.

Système foncier

Le régime foncier au Mali se caractérise par la coexistence du droit foncier coutumier et du code domanial et foncier. Dans le droit coutumier, l'accès à la terre est confirmé principalement par l'héritage (Maïga *et al.*, 1994). Près de 90% des terres cultivées au Mali sont gérées selon le droit coutumier au niveau surtout des villages qui constituent ainsi de véritables centres de décisions en matière de foncier. Dans le droit coutumier, seules les familles autochtones fondatrices sont habilitées à attribuer la terre, d'y planter des arbres, d'y construire et ont droit de retour sur les jachères. Ceux à qui des terres ont été attribuées par ces familles fondatrices ont un droit d'utilisation limitée qui ne les autorisent pas à planter des arbres et à construire des maisons, et ne bénéficient pas du droit de retour sur les jachères (Coulibaly & Joldersma, 1991 ; DRSPR, 1990). Le code domanial et foncier au Mali reconnaît le droit coutumier, tant que l'Etat n'aura pas besoin des terres sur lesquelles il s'exerce. Les terres soumises au régime juridique domanial de l'Etat, dans lequel les domaines privés sont reconnus et protégés sont peu importantes et représentent un peu moins de 10% des surfaces cultivées. Il est à noter que le code pastoral qui règle l'accès aux pâturages communs est mal connu ou souvent non appliqué. L'utilisation des pâturages sur les terres non mises en valeur, est libre aussi bien pour les autochtones que pour les allochtones (transhumants notamment). Pour l'exploitation des résidus de récolte sur champs, les animaux étrangers ne sont pas souvent autorisés à passer sur les champs récemment récoltés avant les animaux des propriétaires.

4.2.5 Systèmes de production actuels

Systèmes d'élevage

Le cheptel du Cercle de Koutiala a connu un accroissement important ces dernières années, car en plus des propriétaires traditionnels de bétail (Bremen & Traoré, 1987), les agriculteurs, commerçants et fonctionnaires ont investi de plus en plus dans le bétail. L'importance accrue du cheptel dans les systèmes de production de cette zone s'explique par le fait que le troupeau représente un moyen d'investissement et d'épargne (Bosman *et al.*, 1997) Par ailleurs, l'activité d'élevage est intégrée à celle de l'agriculture et lui procure la force de traction et le fumier, dont celle-ci a besoin et bénéficie de ses sous-produits. La répartition du cheptel entre exploitations est inégale (Touré *et al.*, 1992) avec 21% des ménages-paysans possédant 65% des bovins. Les bovins sont en général du type méré qui est issu du croisement entre les races Zébu et N'dama. En ce qui concerne le mode de conduite des animaux, pendant la saison des pluies la surveillance d'un berger est nécessaire dans le souci de limiter les dégâts sur les cultures. Pendant la saison sèche, les résidus de récolte, notamment les pailles de céréales, constituent une source alimentaire importante pour les animaux. Le surpâturage et la méconnaissance des nouvelles techniques d'élevage expliquent la

faible productivité du cheptel dans cette zone (Breman & Traoré, 1987 ; Breman & De Ridder, 1991).

La faible disponibilité des fourrages de qualité dans les pâturages est l'une des principales contraintes dont souffre l'élevage dans la zone de Koutiala, surtout en saison sèche. Du fait du surpâturage lié à la pression démographique la disponibilité en pâturages de qualité est en nette régression. Ce qui conduit les ménages-paysans possédant de grands troupeaux à pratiquer souvent la courte transhumance.

Systèmes de production agricole

Les systèmes de production constituent l'ensemble des combinaisons de productions et de facteurs de production (terre, travail, capital) réalisés selon les choix effectués par les ménages-paysans. Ces choix se font en fonction des conditions naturelles, de la structure de l'exploitation, de la gestion foncière, du niveau d'équipement et des possibilités du marché. Les trois principaux types de ménage-paysan qui existent dans le Cercle de Koutiala sont décrits au Chapitre 5.

- **Les principales spéculations pratiquées** dans les systèmes de culture de la zone de Koutiala sont le coton, les mils/sorgho, le maïs, l'arachide et le niébé. Le coton est la culture de rente qui constitue la principale source de revenu des ménages-paysans, tandis que les céréales constituent la base de l'alimentation.
- **Les techniques de production** sont essentiellement basées sur la traction animale qui constitue l'un des éléments essentiels d'intensification et de développement de la culture cotonnière dans le Cercle de Koutiala et en Zone Mali-Sud. Le développement de la culture attelée a été favorisé par des actions diverses dont le prêt « premier équipement » initié par la CMDT en collaboration avec le DRSPR. Ainsi, en 1984 déjà, 87% des exploitations possédaient une paire de bœufs, 52% une charrue, 40% un multicultureur et 32% avaient une charrette (CMDT, 1984). La plupart des opérations culturales sont mécanisées, à l'exception de la récolte, aussi bien pour le coton que pour les autres cultures. En plus de la mécanisation, le coton bénéficie plus des facteurs d'intensification (produits phytosanitaires, engrais, semences sélectionnées). Cependant des efforts de diversification des cultures sont de plus en plus initiés par la CMDT dans la zone. Le coton, le maïs et l'arachide sont généralement semés après un travail du sol (labour, billonnage) tandis que le mil et le sorgho sont semés le plus souvent sur les anciens billons laissés par la culture du coton. Quant au niébé, il est traditionnellement cultivé en association avec les céréales (mil/sorgho) et la culture en pure n'est que très faiblement pratiquée. Pour ce qui concerne le calendrier cultural, le semis du coton intervient le plus souvent dans la première décennie de juin alors que celui des cultures semées sur anciens billons a lieu de la 3^e décennie de mai à la première décennie de juin. Le coton est récolté en 2 ou 3 passages ou plus. En ce qui concerne les cultures secondaires, les cultures potagères sont le plus souvent implantées sur des parcelles de petites dimensions mais leur culture est intensive, avec apport de fumure organique et entretiens réguliers. En ce qui concerne l'utilisation de la main-d'œuvre, il peut y avoir un goulot d'étranglement au cours de certaines périodes de l'année en raison du volume important et du chevauchement des travaux. C'est le cas par exemple de la période d'octobre à novembre, très surchargée par les récoltes des différentes cultures.
- **Apport d'intrants** : il ressort d'une étude diagnostique (DRSPR, 1990) que la quantité de fumure organique apportée par les ménages-paysans varie de 0 à 1,5 t ha⁻¹ an⁻¹. La rotation de type coton/céréale pratiquée par les agriculteurs permet aux céréales de bénéficier de l'arrière-effet de la fumure apportée sur la sole cotonnière. Quant aux autres facteurs d'intensification,

Niang *et al.* (1993) signalent que durant les campagnes 1990, 1991 et 1992, les quantités de complexe, d'urée et d'insecticide appliquées par les paysans du Cercle de Koutiala ont représenté respectivement 78, 93 et 80% des doses recommandées par l'encadrement.

- **Production et modes d'utilisation actuels des résidus de récolte** : Concernant la production de résidus de récolte (Camara, 1995) : les céréales mil/sorgho fournissent les plus grandes quantités de résidus à cause de l'importance des superficies cultivées. Cependant les tiges de coton représentent aussi une fraction non négligeable de la biomasse totale. L'analyse des stratégies actuelles d'utilisation des résidus de récolte par les ménages-paysans dans le Cercle de Koutiala (Camara, 1995) montre que : **les pailles de mil/sorgho** sont très diversement utilisés par les ménages-paysans. Elles servent en premier lieu dans l'alimentation des animaux. Elles sont traditionnellement pâturées sur place comme fourrage au champ, et les refus sont soit brûlés ou enfouis. Elles peuvent également être transportées pour servir de litière sur les aires de stabulation des animaux ou être déversées dans les fosses compostières pour être mélangées aux bouses et autres déchets domestiques. Elles contribuent ainsi à la production de fumure organique. **Les pailles de maïs** servent principalement dans l'alimentation des animaux. Leur faible lignification par rapport aux autres céréales en fait des fourrages très appréciés. **Les tiges de coton** sont essentiellement brûlées ou transportées en vue d'un recyclage en fumure organique. **Les fanes d'arachide** sont : soit enfouies ou pâturées sur place, soit transportées et stockées pour servir de fourrage. **Les fanes de niébé** servent exclusivement à l'alimentation du cheptel et sont soit transportées et stockées pour être distribuées aux animaux, soit consommées directement au champ sans arrachage. La comparaison entre ces différentes formes de gestion montre que l'alimentation du cheptel est assurée principalement (à près de 50%) par les pailles de mil/sorgho (Camara, 1995). Ceci confirme le rôle non négligeable que ces sous-produits jouent dans la survie du bétail. **Les contraintes** qui pèsent sur la décision des producteurs en matière d'utilisation efficace des résidus de récolte sont entre autres : l'insuffisance d'équipement et de main d'œuvre, la distance, le manque de financement et de moyens de stockage, et les contraintes d'ordre organisationnel. Parmi toutes les contraintes signalées, l'insuffisance d'équipement semble la plus importante, notamment la non possession de charrette pour le transport (Camara, 1995).

Importance du Cercle de Koutiala en matière de production agricole

L'évolution des superficies cultivées (Tableau 4.5) montre que les superficies en coton, mil/sorgho, maïs et arachide ont fortement augmenté au cours de la période 1990-1995. Dans la région de Sikasso, le Cercle de Koutiala a une place importante en matière de production agricole avec 52% de la production totale de mil, 38% pour le sorgho, et 43% pour le coton (Tableau 4.6). L'importance du Cercle ne se situe pas seulement sur le plan régional mais elle a aussi une portée nationale en termes de contribution d'une part dans le budget de l'Etat à travers les devises d'exportation du coton et d'autre part à l'objectif d'autosuffisance alimentaire sur le plan national.

Tableau 4.5. Importance et évolution de la superficie cultivée par spéculation (en 10³ ha) dans le Cercle de Koutiala.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
coton	41	44	44	51	40	56
céréales	90	92	93	99	100	106
légumineuses	19	19	20	20	20	22
autres	5	7	6	6	6	6

Source : Service statistiques, CMDT/Koutiala

Tableau 4.6. Importance de la production agricole du Cercle de Koutiala.

	Région de	Cercle de Koutiala	
	Sikasso (10 ³ t)	10 ³ t	%
mil	63	33	52
sorgho	141	54	38
maïs	124	22	18
niébé	28	5	19
arachide	26	6	23
coton	160	69	43

Source : DNSI (1993)

4.3 Formulation du scénario de base d'un développement agricole durable (SP1)

L'analyse des **perspectives d'un développement agricole durable** au niveau du Cercle de Koutiala en zone Mali-sud a été faite à travers **la formulation et l'analyse** d'un scénario sur la base duquel s'articulera la stratégie de développement pour atteindre les objectifs fixés. La formulation d'un scénario de développement constitue en effet la première étape pour la définition d'une stratégie de développement agricole appropriée au niveau régional. Dans le processus général de formulation d'un scénario de développement, on doit spécifier tout d'abord les objectifs de développement pour lesquels les décideurs entendent donner la priorité.

Choix des objectifs de développement

- **Au niveau national** : pour une meilleure formulation des stratégies de développement, le choix des objectifs de développement prioritaires par les décideurs (au niveau national) doit être fait sur la base des principaux indicateurs³⁰ qui sous-tendent la performance de l'économie nationale et du secteur agricole en particulier, à savoir : **la croissance, la durabilité, la stabilité, l'équité, et l'efficience**. La priorité donnée à ces cinq objectifs peut varier d'un pays à un autre. Ces objectifs conditionnent par conséquent la structure des politiques agricoles ainsi que la portée et le caractère de l'action des services publics (Thorbecke, 1982). Les trois premiers objectifs de développement

³⁰ Ces principaux indicateurs ont déjà été abordés en détails au Chapitre 2 (Section 2.2).

(croissance, durabilité, et stabilité) se rapportent étroitement au but de « sécurité alimentaire » et de hausse des revenus.

- **Au niveau régional** : outre les objectifs de développement spécifiques à une région donnée, on doit tenir compte des objectifs de développement au niveau national, aussi bien qu'au niveau des paysans de la région. Comme l'illustre la Figure 4.1, des *interactions très étroites existent entre choix des objectifs à différents niveaux hiérarchiques : national, régional et paysan*. Cet aspect a été abordé au préalable dans la Sous-section 2.4.2 pour souligner la complexité des agro-écosystèmes. Le Gouvernement d'un pays ne peut en effet atteindre ces objectifs de développement qu'à travers les potentialités de ces différentes régions dont les objectifs de développement sont orientés et basés sur telles ou telles productions. Dans le cas du Mali par exemple, il y a le riz dans la zone Office du Niger et le coton en zone Mali-sud qui sont des productions ayant une portée tant régionale que nationale. Les décideurs d'une région ne peuvent à leur tour atteindre leurs objectifs qu'à travers les activités de production réalisées par les ménages-paysans de la région concernée.

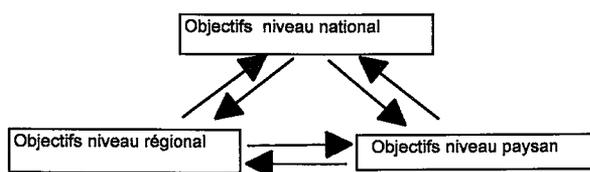


Figure 4.1. Interrelations entre choix des objectifs à différents niveaux hiérarchiques.

Pour le Cercle de Koutiala : les interrelations structurelles entre niveaux hiérarchiques de prise de décision peuvent être résumées à travers la *structure hiérarchique*³¹ présentée sur la Figure 4.2. L'organigramme des prises de décision est structuré de manière séquentielle du niveau « macro » (Gouvernement) au niveau « micro » (ménage-paysan). Le niveau régional constitue ainsi un maillon important de la chaîne de prises de décision devant aboutir au processus global de développement économique. Les prises de décision du gouvernement en matière d'orientation de politique et d'action de développement se répercutent sur l'exécutif régional à travers les différents ministères qui sont tous représentés dans la région (santé, éducation, transports/travaux publiques, développement rural, etc.).

Dans la structure hiérarchique présentée sur la Figure 4.2, l'échelle de prise de décision et d'action se désagrège du niveau gouvernement, jusqu'au niveau ménage-paysan. Les comités de développement aux niveaux Cercle et arrondissement sont composés des administrateurs et des représentants des services techniques. Le feed-back entre prises de décision « macro » et « micro » se réalisent au niveau village et ménages-paysans, qui reçoivent et réagissent aux prises de décision de l'Etat représentés par les services administratifs et techniques.

³¹ Il est important de signaler que suite au processus de décentralisation déjà amorcé au Mali, les communes rurales trouveront leur place dans une telle structure hiérarchique notamment entre villages et arrondissements.

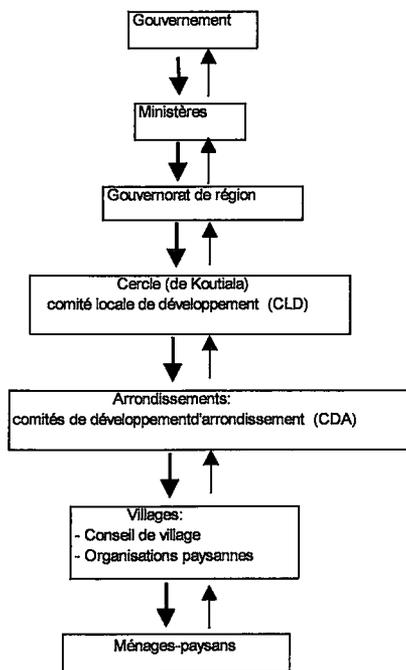


Figure 4.2. Interrelations structurelles entre centres de décision macro-économique et micro-économique.

Les objectifs prioritairement retenus au niveau du Cercle de Koutiala (Sissoko, 1994) concernent :

- le développement des infrastructures routières,
- l'augmentation du taux de scolarisation et des infrastructures scolaires,
- la garantie de la santé pour tous par la multiplication d'infrastructures socio-sanitaires,
- la sécurité alimentaire,
- la gestion adéquate des ressources naturelles disponibles,
- la hausse des revenus des ménages-paysans.

Les objectifs généraux (santé, éducation, infrastructures routières, etc.) rentrent dans le cadre de la création d'un environnement socio-économique favorable. Dans la formulation du scénario perspective d'un développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala : la garantie de la sécurité alimentaire et la maximisation du revenu, ont été retenus comme objectifs principaux de développement. Ces deux objectifs s'articulent bien avec ceux du gouvernement au niveau national. Ainsi la **maximisation du revenu régional** a été retenue comme fonction-objectif (ou objectif principal) dans le scénario perspective d'un développement agricole durable (SP1). Des valeurs minimales sont exigées pour les autres variables-objectives (production de céréales, légumineuses, lait, viande, bois) à cause de la restriction concernant l'exigence de la sécurité alimentaire de la population pour garantir la consommation des produits principaux (cultures, bois, viande et lait). La formulation mathématique du modèle régional de Koutiala (MRK) se trouve en annexe 3.1.

4.4 Conditions d'analyse du scénario perspective (SP1)

L'analyse du scénario perspective (SP1), se fera dans les conditions de durabilité absolue à long terme (an 2010), avec une situation de pluviométrie normale, des prix moyens intrants/extrants, et des potentialités en ressources disponibles dans la région (terres, population et main-d'œuvre) décrites à la section 4.2. Ce sont les options techniques alternatives durables qui ont été incluses comme pièces maîtresses des analyses du scénario perspective d'un développement agricole durable (SP1).

4.4.1 Condition de prix

Les prix des intrants externes (engrais et suppléments) et des produits finaux sont des coefficients assez importants dans le modèle. Les prix considérés pour les intrants et extrants sont les niveaux de prix moyens présentés au Tableau 4.7. Les prix des extrants sont les prix moyens au producteur.

Tableau 4.7. Prix moyens considérés pour les intrants et extrants et les normes de consommation (en unité par personne par an) pour la zone de Koutiala.

	unités	prix (F CFA)	normes de consommation
<i>Extrants</i>			
mil ¹	kg	47	90
sorgho ¹	kg	36	55
maïs ¹	kg	35	67
niébé graines	kg	75	10
arachide graines	kg	75	12
coton graines (1er choix) ²	kg	125	
lait	kg	150	9
viande (poids vif)	kg	340	12
bois de chauffe	m ³	1500	0.47
bois de service	m ³	3000	0.17
<i>Intrants</i>			
N-pur ⁴	kg	360	
P-pur ⁴	kg	650	
K-pur ⁴	kg	360	
tourteau de coton	kg	40	
main-d'œuvre	homme-jour	600	

Sources : 1 : OPAM/SIM (1995) ; 2 : Contrat-Plan CMDT-SYCOV ; 3 : OMBEVI ; 4 : IFDC (1994).

4.4.2 Durabilité et satisfaction des besoins de consommation à long terme

L'hypothèse de base considérée est que le type de systèmes de production durables de l'agriculture mixte (cultures, élevage, sylviculture) généré dans la solution du modèle régional est un objectif à long terme qui sera difficilement réalisable à court terme à cause des multiples contraintes techniques, socio-économiques et institutionnelles. Le choix de l'horizon 2010, a pour conséquence que dans le scénario perspective (SP1), les exigences d'autosuffisance en matière de consommation des

produits principaux (cultures, bois, viande et lait) ont été incluses dans le modèle pour une population beaucoup plus importante correspondante à celle de l'année 2010, estimée à 564926 habitants.³² Les besoins de consommation, par produit, imposés comme restrictions dans le modèle sont indiqués au Tableau 4.7. Ces besoins de la population en produits agricoles et animaux sont les normes actuelles de la zone de Koutiala issues de résultats d'enquêtes de la Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique (DNSI, 1991). Les normes de consommation des produits ligneux sont basées sur des estimations tirées des données du projet PIRL (1987). Le concept de durabilité considéré dans la définition des options techniques d'intensification des cultures est explicité dans la sous-section 4.5.1.

4.5 Options techniques d'intensification des cultures

4.5.1 Concept de durabilité

Les différentes définitions de la durabilité données dans la sous-section 2.1.2, montrent la complexité du concept de durabilité. Rappelons que ces différentes définitions de la durabilité se réfèrent soit à un cadre beaucoup plus global tel que développement durable pour une communauté entière (FAO, 1992), soit aux niveaux systèmes de production et options techniques de production durables. Dans ce sujet de recherche, c'est l'équilibre du bilan des éléments nutritifs dans le sol qui a été considéré comme critère d'identification des options techniques et systèmes de production durables pour les ménages-paysans d'une région donnée. Le concept de durabilité a été ainsi caractérisé selon les critères suivants :

1. l'exigence d'un bilan équilibré des éléments nutritifs (N, P, K) et de la matière organique (MO),
2. le contrôle de l'érosion et la lutte anti-érosive par le billonnage simple ou cloisonné,
3. la prise en compte de la rentabilité économique, c'est-à-dire que la valeur des extrants produits doit être supérieure ou tout au moins égale au coût total des intrants investis dans la production.

Concept de systèmes de production durables

Le concept de **systèmes de production durables** utilisé dans cette étude est basé sur : l'intensification des options techniques de cultures et d'élevage et sur l'intégration agriculture-élevage. Dans ce type de systèmes (Figures 3.3 et 4.3), des ressources (terre, main d'œuvre, capital) et d'autres intrants (engrais, fumier et bœufs de labour) sont utilisés dans des activités de production (cultures, sylviculture) pour produire des extrants (graines, résidus et fourrages). Les activités d'élevage, utilisent le fourrage des pâturages (terre), de la main-d'œuvre, du capital, et des résidus et fanes pour produire du lait, de la viande, du fumier et la force de traction. Les pâturages produisent aussi en plus du fourrage, une partie de la consommation de bois de chauffe, l'autre partie est fournie par les activités de sylviculture. Les produits principaux des cultures et de l'élevage sont les produits finaux qui sont utilisés pour satisfaire les besoins de consommation de la population, et pour générer un capital-revenu.

³² Cette estimation a été réalisée sur la base d'un taux de croissance démographique de 3% par an et de la population de 1987 (286244 hbt).

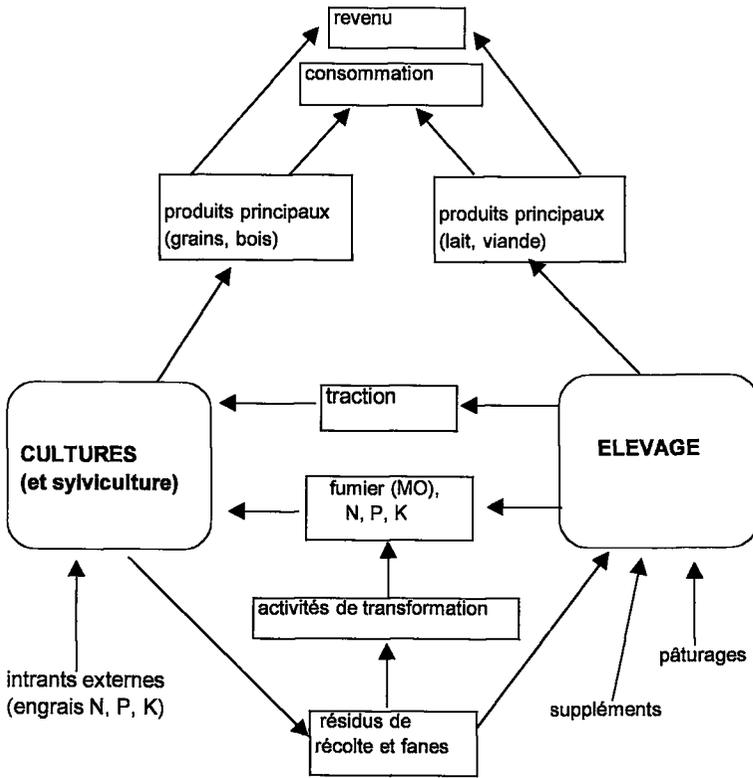


Figure 4.3. Type de systèmes de production intensif durable de l'agriculture mixte.

Dans ce type de systèmes de production durable de l'agriculture mixte (Figure 4.3), les sous-produits (résidus et fanes)³³ constituent un facteur clé d'instauration de la durabilité. Les options techniques de culture fournissent des résidus de récolte qui sont utilisés soit comme fourrage dans l'élevage, soit recyclés dans des activités intermédiaires de transformation telles que l'enfouissement, le paillage, le brûlage, et la fabrication de litière. Ces modes d'utilisation des résidus jouent un rôle clé dans l'instauration de la durabilité des systèmes à travers le recyclage des éléments nutritifs (N, P, K) et de la matière organique (MO), qui augmente la disponibilité interne en fertilisants. L'utilisation des résidus de récolte dans l'élevage fournit aussi du fumier qui augmente la disponibilité interne du système en éléments nutritifs (MO notamment). Cette disponibilité interne en éléments nutritifs ne suffit cependant pas pour instaurer la durabilité absolue, car la quantité d'éléments nutritifs recyclés est inférieure aux besoins, du fait de l'exportation des produits principaux de l'UPA et aussi des pertes par volatilisation (N), lessivage, etc. C'est la raison pour laquelle la disponibilité interne du système doit être complétée par un apport d'engrais (Figure 4.3), pour

³³ Les résidus de récolte des céréales (mil, sorgho, maïs) et les fanes de légumineuses (niébé, arachide).

équilibrer le bilan des éléments nutritifs dans les options techniques d'intensification des cultures définies. L'équation du bilan des éléments nutritifs est établie comme suit :

$$BFER_{sf} \leq \sum_{sf} DFER_{sf} + \sum_{sf} FENG_{sf} + \sum_{sf} EP_{sf} \quad (4.5)$$

où :

$BFER_{sf}$ = besoin par type de fertilisant et par substrat,
 $DFER_{sf}$ = disponibilité interne du système par type de fertilisant et par substrat,
 $FENG_{sf}$ = quantité par type de fertilisant et par substrat venant de l'apport d'engrais
 EP_{sf} = quantité épuisée par type de fertilisant et substrat

En condition de durabilité absolue, considérée dans le scénario perspective d'un développement agricole durable, l'épuisement est nul car tout l'engrais nécessaire à établir l'équilibre du bilan des éléments nutritifs est apporté. *L'exigence de durabilité absolue* est exprimée par le fait que le besoin par type de fertilisant et par type de sol doit être inférieur ou égal à la disponibilité par type de fertilisant et par type de sol. Cette disponibilité correspond à la somme de la disponibilité par fertilisant et par type de sol générée dans le système, plus l'apport de fertilisants venant des activités d'achat d'engrais. Cet apport sert à équilibrer le bilan des éléments nutritifs dans le sol, pour pouvoir atteindre la durabilité absolue (Figure 4.3).

4.5.2 Critères de définition

La définition des options techniques de cultures dans le Cercle de Koutiala a été basée sur les critères de définition comprenant, d'une part, les conditions du milieu (climat/pluviosité, sol) dans lesquelles les activités de production sont exécutées et d'autre part, les techniques de production qu'elles utilisent. Les critères considérés pour la définition des activités de cultures sont indiqués au Tableau 4.8. la définition de ces critères s'appuie sur une série de variables de définition qui peuvent être combinées d'un critère à l'autre.

Tableau 4.8. Critères de définition des options techniques d'intensification des cultures dans le Cercle de Koutiala.

climat (plu-viosité)	(plu-type de sol)	culture	Niveau de production	pro-mode d'utilisation des résidus	technique culturale	
normale	EC	mil	intensif	paillage	à plat	
	GR	sorgho		enfouissement	billons simples	
	GR_su	maïs		brûlage	billons cloisonnés	
	LIAR	niébé		fouillage au champ		
	LIMO	arachide		fouillage à la ferme		
	LISA_f			<i>Andropogon gayanus</i>		
				<i>Andropogon repousse</i>		
		<i>Stylosanthes hamata</i>				
		niébé fourrager				
		coton				

Notes : C : sols d'écoulement, GR : gravillonnaires, GR-su : gravillonnaires superficiels LIAR : limon-argileux, LIMO : limoneux, LISA-f : limon-sableux fins.

Climat

Les facteurs climatiques constituent l'environnement de croissance et de production qui jouent un rôle clé dans la détermination des rendements des cultures. Les différents facteurs climatiques (température, pluviométrie annuelle, nombre de jours de pluie, évapotranspiration potentielle, etc.) ont été caractérisés dans le Cercle de Koutiala, sur la base des données climatologiques enregistrées pendant 30 ans (1961-1990) par la Direction Nationale de la Météorologie du Mali. Ces données pluviométriques pluriannuelles ont été regroupées en trois types d'années pluviométriques (normales, humides et sèches) selon la méthodologie utilisée par Veeneklaas *et al.* (1991). Dans cette étude les analyses³⁴ du scénario perspective (SP1) ont été effectuées en considérant la pluviométrie moyenne des années normales.

Types de sol

Les caractéristiques du type de sol servant de base à la production, influencent aussi les valeurs des coefficients techniques des options techniques de cultures, tels que le taux de recouvrement des engrais et la disponibilité en eau. Ce sont les principaux types de sol (Quak *et al.*, 1996) dans le Cercle de Koutiala, répertoriés et décrits à la section 4.2.2 qui ont été considérés.

Cultures

Le type de culture est l'un des critères clés de la définition des options techniques d'intensification des cultures. Les dix cultures considérées (Tableau 4.8) sont celles pratiquées³⁵ ou potentiellement praticables dans le Cercle de Koutiala. Il y a les céréales (mil, sorgho, maïs), le coton, les légumineuses (niébé grainier, arachide), et les cultures fourragères (*Andropogon gayanus*, *Stylosanthes hamata*, niébé fourrager).

Techniques culturales

Elles concernent la pratique de la traction animale (mécanisation), et la pratique des techniques de la lutte anti-érosive. Trois types de techniques culturales susceptibles d'influencer les ruissellements ont été distinguées : le labour à plat, le billonnage simple et le billonnage cloisonné. Les deux dernières techniques sont appliquées comme mesures de conservation de l'eau et de lutte contre l'érosion du sol. Ces mesures de conservation de l'eau et du sol sont très nécessaires car elles influencent l'infiltration d'eau et partant, la production des cultures limitée par la disponibilité en eau.

³⁴ L'éventuel impact de la variabilité des conditions climatiques sur les résultats est abordé dans les discussions/conclusions à la section 7.3

³⁵ Signalons que parmi les cultures pratiquées, le riz de bas-fonds et le riz pluvial n'ont pas été inclus suite à la non-disponibilité des informations nécessaires à la quantification des coefficients techniques (tableaux intrants/extrants), dans les données de base utilisées.

Modes d'utilisation des résidus

Les différentes possibilités d'utilisation des résidus de récolte considérées sont :

- l'enfouissement pour approvisionner le sol en matière organique,
- le paillage pour réduire l'érosion du sol et approvisionner le sol en matière organique,
- le brûlage des résidus au champ pour augmenter la disponibilité en phosphore et potasse,
- le transport et le stockage des résidus de récoltes pour l'affouragement du bétail dans les activités d'élevage,
- la fabrication de litière,
- l'exploitation directe des résidus de récolte comme fourrage au champ par le bétail.

L'orientation du choix entre ces différents modes d'utilisation sera déterminée par le modèle en fonction des niveaux de production animale (lait/viande) escomptés, des stratégies d'alimentation du bétail (Sous-section 4.6.3) et de l'objectif de durabilité.

Intensité, niveaux de production et de durabilité

Le niveau de production considéré est le niveau intensif, avec une sous-classification établie selon le niveau de rendement et le niveau de durabilité. C'est sur cette base qu'un niveau intensif durable et trois niveaux intensifs non-durables ont été définis :

1. **Le niveau intensif avec une durabilité absolue (I)** correspond au niveau d'intensification qui permet d'atteindre le rendement cible (Figure 4.4), avec un *niveau de durabilité absolue* sans aucun épuisement d'éléments nutritifs, car tout l'engrais (100%) nécessaire à l'équilibre du bilan nutritif est apporté. Le « rendement cible » est estimé à 80% du rendement « potentiel » (limité par la disponibilité en eau pour les cultures pluviales, et par les autres facteurs climatiques pour les cultures irriguées). On considère en effet que le rendement « potentiel » des cultures n'est pratiquement pas réalisable à cause des pertes inévitables estimées à 20%, dues à des facteurs tels que les pertes à la récolte et au stockage, les maladies, les attaques d'oiseaux et d'insectes, etc. Les caractéristiques utilisées pour quantifier la production potentielle (et cible) des cultures sélectionnées sont : la longueur du cycle de croissance minimum et maximum, la durée des stades du développement, les paramètres définissant la fraction de biomasse par rapport aux composants des cultures, les teneurs en éléments nutritifs, ainsi que les paramètres spécifiques des cultures étudiées pour évaluer la production lorsque l'eau est le facteur limitatif (Tanner & Sinclair, 1983). Les données spécifiques des cultures sont dérivées de Purseglove (1974, 1975) et Penning de Vries & Djitéye (1991), Duivenbooden *et al.* (1991), Duivenbooden (1992). L'ensemble de ces données a été inclue dans le générateur des coefficients techniques (GCT), qui a servi d'instrument technique pour informatiser la génération des coefficients techniques par type d'option technique des cultures défini (Quak *et al.*, 1996 ; Hengsdijk *et al.*, 1996). *Les analyses du scénario de base d'un développement agricole durable (SP1) dans le Cercle ont été faites avec ce niveau intensif à durabilité absolue nommé niveau de durabilité (I)*. Il convient de souligner que les options techniques définies avec un tel niveau d'intensification et de durabilité absolue, sont des *options techniques alternatives (intensives et durables)*. Elles diffèrent de la grande majorité des pratiques actuelles non-durables à cause de l'export et des pertes de matière organique et d'éléments nutritifs et/ou des pertes croissantes d'eau par ruissellement (Breman, 1990 ; Stoorvogel & Smaling, 1990 ; van der Pol, 1992). En plus du niveau intensif à durabilité

absolue, trois niveaux intensifs non-durables (II, III, IV), caractérisés chacun par un niveau d'épuisement du sol ont été définis :

2. **le niveau intensif avec non-durabilité de 25%** est un niveau (II) d'intensification où 75% de l'engrais nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs sont apportés ;
3. **le niveau intensif avec non-durabilité de 50%** est un niveau (III) d'intensification où 50% de l'engrais nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs sont apportés ;
4. **le niveau intensif avec non-durabilité de 75%** correspond au niveau d'intensification (IV) où 25% seulement de l'engrais nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs sont apportés.

Ces trois niveaux sont non-durables car contrairement au premier niveau intensif durable (SPI), la quantité d'engrais apportée ne permet pas de combler les besoins en fertilisants et les niveaux de rendement obtenus sont aussi beaucoup plus bas que le rendement cible obtenu dans le cas de durabilité absolue (Figure 4.4).

La définition de ces différents niveaux d'intensification et de durabilité (I, II, III, IV) a été basée sur une relation schématique établie entre niveaux de rendement et quantité d'engrais appliquée. Cette relation a été établie sur la base de quelques considérations importantes qui méritent d'être soulignées : Dans le calcul du besoin en engrais, on considère que le taux des éléments nutritifs dans le matériel végétal (biomasse totale incluant produit principal et résidus de récolte) varie en fonction du niveau de rendement, et du niveau d'absorption. En effet, le taux est minimal pour les niveaux bas d'absorption, et augmente avec un accroissement du taux d'absorption (van Keulen & Wolf, 1986).

Cette relation est représentée schématiquement sur la Figure 4.4, avec une courbe symétrique. Sur cette courbe : R_n représente le niveau de disponibilité des nutriments sous fertilité naturelle. Avec une application croissante d'intrants (NPK), le rendement augmente avec une pente décroissante, reflétant le taux croissant d'éléments nutritifs. En comparaison avec un taux minimum constant (la ligne sous la courbe), cela indique un taux d'absorption plus élevée et on considère ainsi que la différence entre les deux (courbe et ligne) représente l'épuisement du sol et donc le niveau de non-durabilité. Sur la base de ce raisonnement, la relation entre rendement et application d'engrais a été établie mathématiquement par les équations suivantes :

$$R_b = (B_t - B_e) / B_t * R_c \quad (4.6)$$

$$P_m = (R_c - R_b) / B_e \quad (4.7)$$

$$R_{25} = R_b + 0.25 * B_e * 1.2 * P_m \quad (4.8)$$

$$R_{50} = R_{25} + 0.25 * B_e * 1.1 * P_m \quad (4.9)$$

$$R_{75} = R_{50} + 0.25 * B_e * 0.9 * P_m \quad (4.10)$$

$$R_{100} = R_{75} + 0.25 * B_e * 0.8 * P_m \quad (4.11)$$

où :

- R_b = rendement de base, correspondant au niveau de production obtenue sans apport d'engrais
 R_c = rendement cible, correspondant à 80% du rendement potentiel

- R_{25} = rendement correspondant au niveau de non durabilité IV
 R_{50} = rendement correspondant au niveau de non durabilité III
 R_{75} = rendement correspondant au niveau de non durabilité II
 R_{100} = rendement correspondant au niveau de durabilité absolue
 B_t = besoin total en éléments nutritifs
 B_e = besoin en engrais
 P_m = pente moyenne de la courbe de rendement

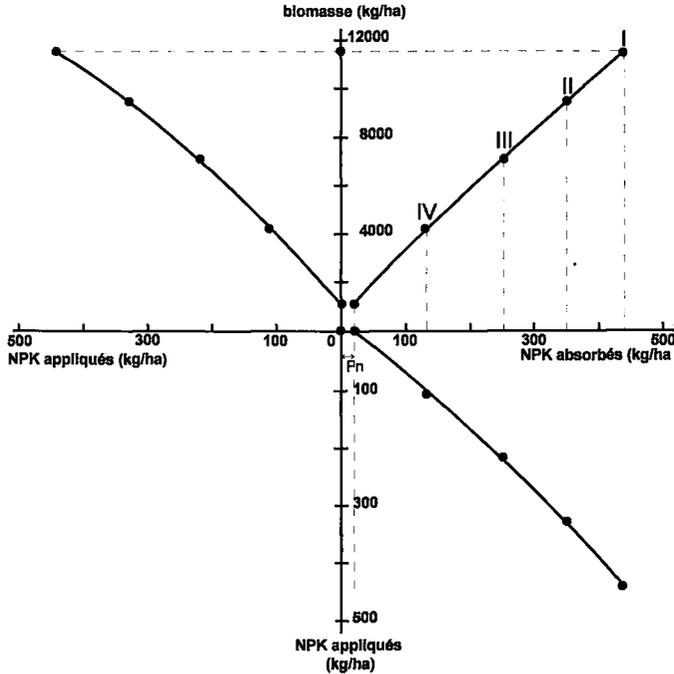


Figure 4.4. Courbe de rendement de quatre types d'options techniques de production de mil dans les différentes conditions de durabilité (I, II, III, IV) définies.

Légende : (I) : durabilité absolue, (II) : non-durabilité (25%), (III) : non-durabilité (50%), (IV) : non-durabilité (75%), R_c : rendement cible, R_b : rendement de base, F_n : fertilité naturelle.

Description quantitative intrants/extrants des options techniques de cultures

Les options techniques d'intensification ont été ainsi définies pour chaque niveau (I, II, III, IV) par la combinaison des différents critères (Tableau 4.8), à l'aide du générateur des coefficients techniques (GCT) à savoir : 6 types de sol, 10 types de cultures, 4 niveaux de production, 6 types d'utilisation des résidus et 2 mesures de conservation de l'eau et du sol (Hengsdijk *et al.*, 1996 ; Quak *et al.*, 1996). Pour toute cette gamme d'options techniques définie par type de culture (céréales, co-

ton, légumineuses et cultures fourragères) les coefficients techniques (tableaux intrants/extrants) ont été quantifiés pour les combinaisons possibles.

Les extrants comprennent le produit principal, et les résidus. *Les intrants* d'une option technique donnée, comprennent les quantités de fertilisants apportées (MO, N, P, K), la main d'œuvre, les bœufs de labour et les intrants monétaires. Pour l'intrant main-d'œuvre, huit périodes ont été définies pendant lesquelles l'exécution de certaines opérations dans les champs exigent la main d'œuvre et les bœufs de labour. Pour chacune de ces opérations, un temps de travail requis est défini en nombre d'homme-jour et d'attelage-jour (Duivenbooden *et al.*, 1991 ; PIRT, 1983a, b, c ; van Heemst *et al.*, 1981). Certaines opérations sont fonction du niveau de rendement (par exemple la récolte), d'autres sont fonction de la superficie (par exemple le labour). Les intrants monétaires des activités de culture comprennent le capital et les coûts des consommations intermédiaires. Le capital inclut les coûts de la traction animale (paire de bœufs et d'ânes), les outils (multiculteur, semoir, charrette, chariot, herse et pulvérisateur). Les coûts annuels du capital incluent l'amortissement et les frais d'entretien. Les intrants consommables comprennent les coûts des fertilisants NPK, les semences et les biocides.

Pour illustrer la démarche méthodologique de la définition des options techniques d'intensification **4 types d'options techniques** représentant respectivement les quatre niveaux d'intensification et de durabilité définis (I, II, III, IV) sont présentés en annexe 4.1. Ces options techniques sont définies pour le mil sur type de sol LIMOn-argileux et diffèrent entre elles en ce qui concerne, le niveau de production, et l'épuisement du sol (non-durabilité). La première option technique (I) a un niveau d'épuisement nul contrairement aux trois autres (II, III, IV) ayant des niveaux d'épuisement de plus en plus importants, à cause du niveau de plus en plus bas d'intrants externes apportés.

4.6 Scénario perspective d'un développement agricole durable : résultats d'optimisation du revenu régional

La procédure de modélisation PLBM explicitée au Chapitre 3 (Figure 3.1) a été appliquée au Cercle de Koutiala, pour analyser les perspectives d'un développement agricole durable. Comme expliqué sur la Figure 3.1, ce processus de modélisation intègre les variables socio-économiques et agro-écologiques pour générer un système de planification de l'utilisation des ressources (terres, main-d'œuvre, capital) permettant d'atteindre les objectifs de développement fixés (maximisation du revenu régional et sécurité alimentaire). Dans les résultats d'analyse, la solution optimale du modèle indique :

1. le mode d'allocation des terres,
2. les niveaux de production et de productivité escomptés et les options techniques à choisir pour les cultures, l'élevage et la sylviculture,
3. les indicateurs de rentabilité économique du système de production durable de l'agriculture mixte.

Des analyses de sensibilité ont été faites (Section 4.7) pour mesurer les effets du changement de condition de durabilité sur les résultats du scénario « perspective ». Pour atteindre les objectifs de développement, le modèle indique dans la solution d'optimisation, comment les terres doivent être allouées aux différentes activités de production (cultures, pâturages, sylviculture) selon leur qualité et aptitude.

4.6.1 Allocation des terres

Allocation globale des terres

Pour atteindre les objectifs de maximisation du revenu régional et la sécurité alimentaire, le mode d'allocation globale des terres suggéré pour le Cercle de Koutiala est que 25% des terres soient réservées aux **cultures**, c'est-à-dire à la pratique de l'agriculture intensive. Une part importante des terres (72%) doit être allouée aux **pâturages**. Pour satisfaire les besoins en bois, 3% de la superficie totale du Cercle, soit 272 km² doivent être alloués à la **sylviculture** (Figure 4.5). Signalons que la jachère n'est pas favorisée dans un tel système, à cause certainement de la spécificité du type de définition qu'on lui a affectée. Dans la définition des activités de jachère, une distinction a été faite entre jachère et pâturages. En effet, la mise en jachère d'une portion de terres, signifie qu'elle doit contribuer seulement dans la régénération de la fertilité du sol, mais ne doit pas être exploitée par le bétail. Ce qui diffère du système de jachère actuelle, où le bétail peut avoir accès et est ainsi intégrée dans les pâturages à un certain âge.

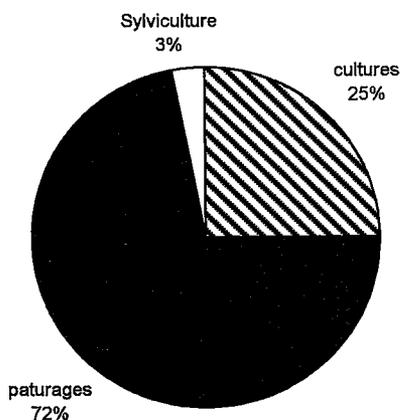


Figure 4.5. Allocation globale des terres.

Allocation des terres par type de sol

L'**agriculture intensive** doit être pratiquée principalement sur les meilleures terres aptes à l'agriculture, c'est-à-dire les sols limoneux et limon-argileux. Les terres inaptes à l'agriculture, c'est-à-dire les sols d'écoulement (EC) gravillonnaires (GR et GR-su), doivent être alloués essentiellement aux **pâturages** et une part importante des sols LIMON-sableux fins doit être allouée à la **sylviculture**. Quant à la **sylviculture**, une part importante des sols limon-sableux fins lui doit être allouée (Tableau 4.9).

Tableau 4.9. Allocation des terres par type de sol et par type d'activité.

type de sol	superficie totale (km ²)	superficie allouée par type d'activité (%)		
		cultures	pâturages	silviculture
EC	296		100	
GR	1918	-	100	-
GR_su	3721	-	100	-
LIAR	2430	78	22	-
LIMO	428	93	7	-
LISA_f	282	0	7	93

Allocation des terres aux cultures

Sur les cinq cultures choisies dans la solution d'optimisation (mil, sorgho, maïs, niébé, arachide et coton), le mil qui occupe la première place dans le système de culture suggéré, suivi par le coton et le maïs. La superficie allouée au coton est de 33%, à cause de l'exigence de rotation incluse comme restriction dans le modèle. La part de superficie allouée à l'arachide et au niébé est de 12% et 6% respectivement (Figure 4.6).

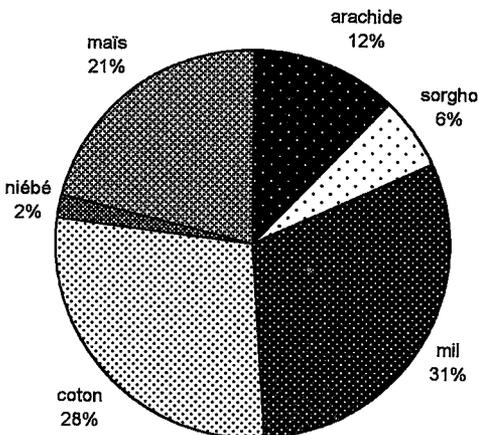


Figure 4.6. Allocation des terres aux cultures.

4.6.2 Les facteurs d'utilisation des terres

Les principaux facteurs qui orientent l'allocation des terres aux activités de production sont la qualité et l'aptitude des substrats et le coût d'opportunité d'utilisation de la terre :

1. **Qualité et aptitude des sols** : Les principales caractéristiques des différents types de sols (texture, profondeur, etc.) ont été décrites à la Section 4.2.2. La faible profondeur des sols gravillonnaires (GR et GR-su) les rend très inaptes à l'agriculture. Quant aux sols d'écoulement, ils sont caractérisés par la présence d'eau d'écoulement et une infiltration assez élevée, ce qui les rend impropres à l'agriculture sèche³⁶ (à condition de procéder à des aménagements). Dans la stratégie de gestion des terres retenue dans la solution du modèle régional, ils sont essentiellement retenus comme pâturages. Pour garantir une meilleure productivité agricole, une **relation d'aptitude** a été établie *entre activités de production et types de sol* en fonction de leur qualité (Tableau 4.10). Selon cette relation, les sols gravillonnaires superficiels (GR-su) ne peuvent être utilisés que pour les pâturages compte tenu de leur faible profondeur qui les rend inapte à l'agriculture. La forte proportion de terres allouées aux pâturages, s'explique par le fait que près de 70% des sols sont gravillonnaires dans le Cercle de Koutiala. Les cultures sont possibles sur tous les autres types de sols sauf que l'arachide et le mil sont exclues sur les sols d'écoulement (Tableau 4.10). La gestion des terres selon leur qualité et aptitude permet ainsi un meilleur usage des potentialités régionales pour atteindre les objectifs de développement visés (maximisation du revenu régional et sécurité alimentaire).

Tableau 4.10. Aptitude des substrats aux différentes activités de production.

Activité de production	EC	GR	GR_su	LIAR	LIMO	LISA_f
Mil	-	+	-	+	+	+
Sorgho	+	+	-	+	+	+
Maïs	+	+	-	+	+	+
Niébé grainier	+	+	-	+	+	+
Niébé fourrager	+	+	-	+	+	+
Arachide	-	+	-	+	+	+
Coton	+	+	-	+	+	+
<i>Andropogon gayanus</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Stylosanthes hamata</i>	+	+	-	+	+	+
Sylviculture	+	+	-	+	+	+
Pâturages	+	+	+	+	+	+

(+) praticable (-) non praticable

EC (sols d'écoulement), GR (gravillonnaires), Gr_{su} (gravillonnaires superficiels),

LIAR (limon-argileux), LIMO (limoneux), LISA-f (limon-sableux fins)

Source : Quak *et al.* (1996)

2. **Coûts d'opportunité d'utilisation de la terre** : La valeur du coût d'opportunité d'utilisation d'un type de sol donné, correspond au gain de revenu entraîné par une augmentation de sa su-

³⁶ Notons cependant que les sols d'écoulement qui peuvent être assimilés aux bas-fonds sont aptes pour la culture du riz de bas-fonds, non pris en compte dans la définition des activités de production culturales suite au manque d'informations nécessaires pour la détermination des coefficients techniques dans les données de base utilisées.

perficie d'une unité d'hectare supplémentaire. Pour le substrat d'écoulement (EC) par exemple, le coût d'opportunité de son utilisation comme pâturages, est beaucoup plus élevé ($98 \cdot 10^3$ F CFA ha^{-1}) comparativement à celui (43000 F CFA ha^{-1}) des autres activités de production (cultures, sylviculture). Ce qui signifie que lorsqu'un hectare de plus du type de sol EC est utilisé comme pâturages, cela entraîne un gain supplémentaire de $98 \cdot 10^3$ F CFA ha^{-1} sur le revenu net. Ce gain est réalisée notamment à travers la production de bois provenant des pâturages, mais aussi et surtout à travers l'impact sur l'élevage (production de lait et de viande) avec l'exploitation de ce pâturages en saison des pluies. Les types de sol limon-argileux et limoneux ont un coût d'opportunité d'utilisation de la terre beaucoup plus élevé en agriculture que dans les autres activités de production (pâturages, sylviculture). Quant au type de sol limon-sableux-fin, son coût d'opportunité d'utilisation est relativement plus élevé en sylviculture. C'est sur la base de ces principaux **critères d'aptitude technique et de rentabilité économique** que le mode d'allocation des ressources en terres aux activités de production ; qui permet d'atteindre les objectifs de sécurité alimentaire et de revenu maximum, est déterminé dans le scénario de base d'un développement agricole durable (SP1).

4.6.3 Production agricole

Choix des options techniques de cultures

Dans l'analyse du scénario perspective d'un développement agricole durable, toutes les options techniques de cultures définies (cf. Sous-section 4.5.2) et incluses dans le modèle comme pièces maîtresses des analyses, sont des **options alternatives** (intensives et durables), avec un bilan des éléments nutritifs équilibré³⁷. Dans la solution du modèle, neuf types d'options techniques alternatives ont été **sélectionnées**. Ce choix correspond à la combinaison d'options techniques permettant d'atteindre les niveaux de production escomptés pour atteindre les objectifs visés dans le scénario perspective (SP1). Les caractéristiques (Tableaux intrants/extrants) de ces options techniques alternatives sélectionnées dans l'analyse du Scénario perspective sont présentés en annexe 4.2.

Niveaux de production et de productivité agricole

Le niveau de production et de productivité du système intensif durable de l'agriculture mixte est très élevée (Tableau 4.13), et permet d'atteindre les objectifs de maximisation du revenu et de sécurité alimentaire à long terme dans le Cercle de Koutiala. Il y a ainsi une production cotonnière élevée par rapport à la situation actuelle³⁸ et qui est destinée à l'exportation pour la maximisation du revenu régional. Un système de commercialisation bien organisé est déjà en place sous le contrôle de la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT), en relation avec le marché mondial. Il y a aussi une forte production de céréales (mil/sorgho/maïs), qui permet de satisfaire les besoins de consommation³⁹ futurs de la population du Cercle de Koutiala et de dégager

³⁷ L'analyse du bilan des éléments nutritifs est présentée dans la section 4.7 concernant les analyses de sensibilité sur les niveaux de durabilité. Une comparaison est faite entre les résultats obtenus dans les conditions de durabilité absolue et ceux obtenus en considérant des niveaux de non-durabilité dégressifs.

³⁸ Une comparaison sera faite au Chapitre 5 entre ces résultats de la situation optimale intensive durable et les niveaux de production observés à l'heure actuelle.

³⁹ Les besoins de consommation ont été estimés sur la base des valeurs présentées au tableau 4.7.

des excédents de production importants qui représentent plus de 80% des productions de mil et de maïs, et 60% de celle de sorgho. Quant aux légumineuses, la production d'arachide dépasse aussi très largement les besoins de consommation, contrairement à celle du niébé dont le niveau de production n'enregistre pas un excédent important. Dans ce scénario perspective (SP1), toutes les cultures contribuent à la maximisation du revenu, sauf le niébé qui n'est produit que pour satisfaire les besoins de consommation. Cette production agricole très élevée, est liée aux hauts niveaux de productivité des options techniques alternatives (intensives et durables) choisies (Annexe 4.2). Les excédents issus de cette forte production agricole (coton, céréales, légumineuses) induite par l'intensification, doivent être valorisés pour pouvoir atteindre l'objectif de maximisation du revenu régional. Pour ce faire, plusieurs alternatives peuvent être considérées (Figure 4.7) :

- *l'écoulement* de tout ou partie des excédents de production à l'extérieur de la région. Pour les céréales par exemple, le Cercle de Koutiala peut être considéré au niveau national, comme une zone de forte production pouvant servir à ravitailler les centres urbains de forte consommation ainsi que d'autres régions déficitaires en produits vivriers.
- *la constitution de stocks de sécurité alimentaire* en prévision du risque d'année sèche de faible production,
- *le développement d'industries agro-alimentaires* locales pour la valorisation des produits agricoles,
- *les autres alternatives* telle que l'utilisation des céréales dans le développement de l'aviculture.

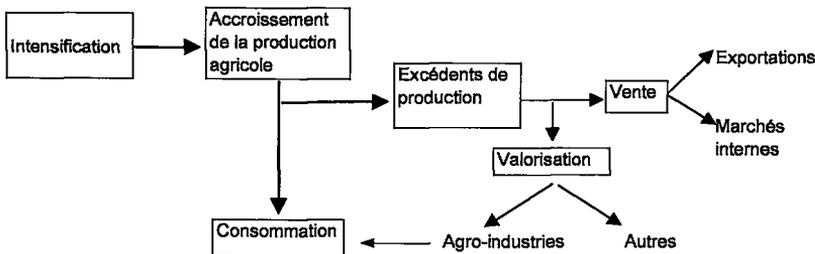


Figure 4.7. Effets de l'intensification sur la production agricole et alternatives de gestion des excédents.

Niveau de production, et choix des modes d'utilisation des résidus et fanes

L'intensification des cultures en condition de durabilité absolue, a entraîné aussi une *forte production de résidus de céréales et de fanes de légumineuses*, due à une productivité élevée des options techniques alternatives (intensives et durables). Il y a surtout une importante production de résidus céréales et de fanes d'arachide (Tableau 4.15). Il est à souligner que le choix des options techniques de production fourragère (*Stylosanthes* ou *Andropogon*) n'a pas été favorisée en condition de durabilité absolue⁴⁰. *Les modes d'utilisation des résidus* retenus dans la solution du modèle régional (Tableau

⁴⁰ Cet aspect sera encore abordé dans les analyses de sensibilité du changement de condition de durabilité dans la Section 4.7, où on constate un choix des options techniques de production fourragère en condition de non-durabilité.

4.15) pour le scénario perspective (SP1) indiquent que : la totalité (100%) des résidus de maïs et 62% de ceux de mil doivent être exploités directement comme *fouillage au champs* par le bétail. La totalité des fanes de niébé et d'arachide ainsi que 38% des résidus de mil doivent être *transportés et stockés* pour servir de supplément pour le bétail en saison sèche. Quant aux résidus de sorgho et tiges de coton, ils doivent être directement *empaillés* au champ.

Facteurs d'utilisation des résidus et fanes

Parmi les différentes possibilités d'utilisation des résidus de récolte qui ont été préalablement définies et (Tableau 4.11 ; Quak *et al.*, 1996), certains modes d'utilisation sont sélectionnés dans la solution du modèle régional. Les facteurs qui expliquent le choix des modes d'utilisation des résidus et fanes sont :

- *la taille du cheptel à nourrir et les stratégies d'alimentation retenues* déterminent les quantités de résidus et de fanes à utiliser comme aliments bétail ;
- *l'instauration de la durabilité est aussi un facteur qui oriente l'utilisation des résidus de récolte* : car le recyclage des résidus de récolte (Figure 4.8) permet la régénération de la matière organique et des éléments nutritifs dans le système pour accroître leur disponibilité interne. Celle-ci sera complétée ensuite par l'apport d'intrants externes pour assurer l'équilibre du bilan des éléments nutritifs (Figure 4.3, Section 4.5). Le paillage permet par exemple de minimiser les quantités de fumier à apporter.

Dans ce scénario, la production de litière, l'enfouissement et le brûlage n'ont pas été sélectionnés comme modes de recyclage des résidus. Les modes d'utilisation des résidus et fanes retenues pour le scénario perspective (SP1) et les autres conditions de durabilité sont présentés au Tableau 4.15.

Tableau 4.11. Modes d'utilisation possibles par type de résidus et fanes des cultures.

Résidus et fanes	fouillage au champs	fouillage stocké	brûlage	enfouissement	paillage	fabrication de litière
Résidus de mil	+	+	+	+	+	+
Résidus de sorgho	+	+	+	+	+	+
Résidus de maïs	+	+	+	+	+	+
Fanes de niébé grainier	+	+	+	+	-	+
Fanes d'arachide	-	+	-	+	-	-
Tiges de coton	-	-	+	-	+	-
Paille d'Andropogon	-	+	+	-	-	+
Fanes de Stylosanthes	+	-	-	-	-	-

(+) praticable (-) non praticable

Source : Quak *et al.* (1996)

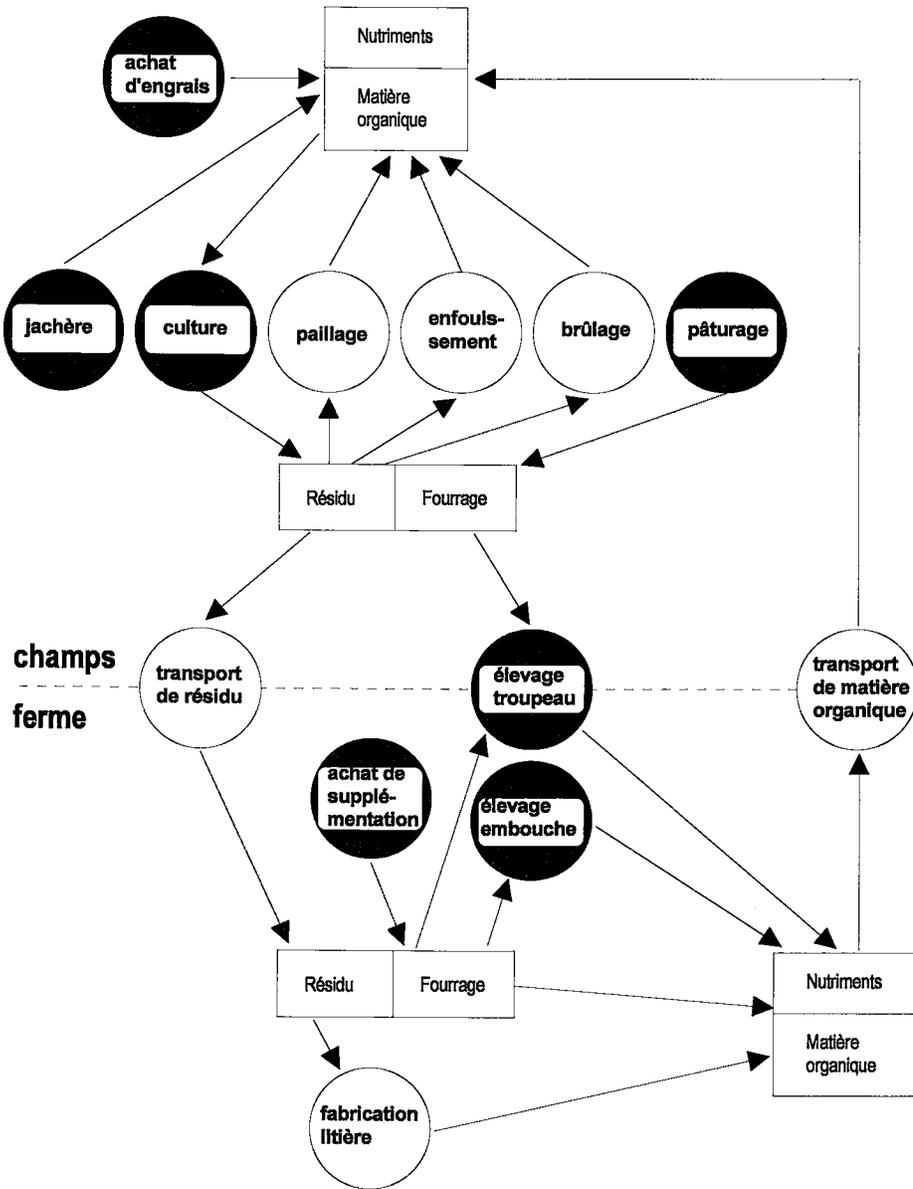


Figure 4.8. Mécanismes de production et de transformation et de recyclage des résidus de récolte (Source : Quak *et al.*, 1996).

4.6.4 Production animale

Taille et composition du cheptel

Le cheptel du Cercle de Koutiala, généré dans la solution optimale du modèle PLBM, a été évalué à 370 000 UBT, soit une densité d'environ 0.41 UBT ha⁻¹. Dans ce cheptel, les bovins constituent l'essentiel avec 69% et les petits ruminants 31%. *Les facteurs qui déterminent le choix de la taille du cheptel* sont : le besoin total des activités de cultures en animaux de traction, les besoins de consommation de la population en lait et viande, et l'objectif de maximisation du revenu régional. En effet, dans les conditions d'analyse, il a été exigé que le cheptel de la région doit être en mesure de fournir 75% des besoins en bœufs de labour. La production de lait et de viande doit aussi couvrir au minimum les besoins de consommation de la population.

Productivité du bétail et choix des options techniques d'élevage

Les pratiques d'élevage intensif ont été définies pour les troupeaux bovins, ovins et caprins. Les objectifs de production considérés sont le lait, la viande et la traction. Pour atteindre les niveaux de production animale escomptés dans le scénario perspective (Tableau 4.13), deux *types d'élevage* intensif de troupeaux bovins ont été choisis dans la solution du modèle régional. *Le premier type d'élevage intensif* de troupeaux bovins a surtout pour *objectif de fournir les besoins en bœufs de labour* pour les activités de production agricole. *Le deuxième type d'élevage intensif* de troupeaux bovins choisi a pour *objectif principal la production laitière intensive*. Le type d'élevage attribué aux petits ruminants est intensif avec objectif de production mixte viande/lait. Les caractéristiques (tableaux intrants/extrants) des *types d'élevage choisis*⁴¹ dans la solution du modèle régional sont présentées en annexe 4.6. Concernant *la contribution des différentes espèces dans la production*, les petits ruminants qui représentent 31% du cheptel, apportent une contribution de 50% et 46% de la production totale de viande et de lait, respectivement. Les bovins fournissent 50% et 46% de la production totale de viande et de lait respectivement. Le rôle principal du cheptel bovin est de fournir aussi des bœufs de labour. *Le besoin total en bœufs de labour* pour les activités d'intensification des cultures est estimé à près de 45000 têtes dont 80% sont fournis par les troupeaux bovins, et 20% doivent provenir de l'extérieur de la région. En matière *d'excédents de production*, comme dans le cas de la production agricole, l'intensification de l'élevage et sa forte intégration avec l'agriculture a permis d'atteindre un niveau de *production totale de lait et de viande* qui surpasse largement les besoins de consommation futurs de la population (pour l'an 2010) estimés selon les normes mentionnées au Tableau 4.7. *Les excédents de production en lait et viande* représentent ainsi une part importante de la production. Les alternatives de valorisation des excédents (Figure 4.7) doivent aussi être considérées pour la production animale, notamment en ce qui concerne la promotion de l'agro-industrie ; ainsi que la possibilité de développer les exportations en direction des marchés de la sous-région ouest-africaine.

⁴¹ Il est à souligner que les activités d'emboche n'ont pas été sélectionnées dans cette solution du modèle régional. La raison en est que la productivité des troupeaux d'élevage intensif est suffisamment élevée avec une forte pratique de la supplémentation.

Stratégies d'alimentation du bétail

En matière d'alimentation du bétail, les différentes catégories d'aliments bétail (pâturages, résidus de récolte, fanes de légumineuses, et suppléments agro-industriels) ont été regroupées en huit qualités définies selon leur niveau d'alimentation (NA) basé sur leur taux de digestibilité de la matière organique (Annexe 4.7). Les stratégies d'alimentation du bétail par saison et par espèce ont été choisies en combinant ces différentes qualités. Deux stratégies d'alimentation ont été distinguées selon les deux principales saisons de l'année (saison sèche et saison des pluies) :

- **Stratégies d'alimentation du bétail en saison sèche** : La stratégie d'alimentation retenue en saison sèche repose essentiellement sur la pratique de la supplémentation du bétail, en vue de limiter la pression du bétail sur les parcours naturels et éviter ainsi le surpâturage et la dégradation des parcours. Ceci constitue l'*élément de durabilité* pris en compte dans le cas *des options d'intensification de l'élevage*. Pour atteindre les niveaux de production indiqués au Tableau 4.13, la stratégie d'alimentation suggérée pour la supplémentation du bétail en *saison sèche* est que l'alimentation du bétail reposera essentiellement sur l'exploitation de la forte production des résidus et fanes issue de l'intensification des options techniques de cultures ainsi que l'utilisation de suppléments agro-industriels (tourteau de coton). L'exploitation des résidus se fait sous deux formes : (i) directement comme fourrage au champ juste après les récoltes, (ii) comme fourrage ramassé et stocké. La répartition des résidus et fanes selon ces deux formes d'utilisation, est spécifiée dans les modes d'utilisation choisis (Tableau 4.15). La disponibilité totale en aliments bétail, estimée par qualité et par source ainsi que sa répartition par espèce sont aussi spécifiées dans la solution du modèle régional. Les différentes qualités d'aliments ont été sélectionnées en fonction du besoin total en MOD par espèce et en fonction des niveaux de production en lait et viande escomptés dans le scénario perspective. *Dans la stratégie de supplémentation* : (1) les aliments de qualité 3 (résidus de céréales au champs) doivent exploiter essentiellement par les troupeaux bovins et caprins, et très faiblement par les bœufs de labour ; (2) les aliments de qualité 4 (résidus de céréales stockés) doivent être essentiellement exploités par les bovins et les ovins ; (3) les aliments de qualité 5 (fanés d'arachide et de niébé stockées) doivent être distribuées en totalité aux bœufs de labour ; (4) les aliments de qualité supérieure 6 et 8 (tourteau) doivent être essentiellement distribuées aux troupeaux laitiers.
- **Stratégies d'alimentation du bétail en saison des pluies** : En saison des pluies, l'alimentation du bétail doit être basée essentiellement sur l'exploitation des pâturages (6,7,8) de meilleure qualité (Annexe 4.7). La disponibilité en fourrage sur ces pâturages par qualité et par source (herbacées, ligneux) et sa répartition probable par type d'animaux sont aussi spécifiés dans la solution du modèle régional. La disponibilité en fourrage des pâturages en saison de pluies provient à 61% des herbacées et 39% des ligneux, selon les estimations basées sur la valeur des pâturages indiquées par Breman & De Ridder (1991). La répartition des besoins par qualité de fourrage indique une plus grande part des bovins et des caprins dans l'exploitation du fourrage des pâturages (toutes qualités confondues).
- **Facteurs déterminant le choix des stratégies d'alimentation** : Les facteurs importants qui expliquent le choix de ces stratégies d'alimentation sont : (i) l'importance et la composition du cheptel, (ii) les objectifs et les niveaux de production de lait et de viande, (iii) le facteur de durabilité à travers la diminution de la pression du bétail sur les pâturages en saison sèche par la pratique de la supplémentation. Les pâturages n'étant essentiellement exploités que durant la saison des pluies. Le choix de ces stratégies d'alimentation est donc fonction de l'importance du cheptel à nourrir, de sa composition ainsi que des objectifs de production de lait et de viande.

4.6.5 Production sylvicole

L'intégration de la sylviculture dans la planification du développement (déjà abordée à la Sous-section 4.2.3) est une nécessité compte tenu du rythme d'exploitation croissant des ressources ligneuses. C'est dans ce but que des activités de sylviculture ont été définies et intégrées dans le modèle régional comme élément du système de production durable de l'agriculture mixte. Dans la stratégie globale d'allocation des terres, 272 km² de plantation pure (soit 3% de la superficie totale du Cercle) doivent être réalisées pour faire face aux besoins de consommation futurs de la population⁴² en bois. Dans les estimations réalisées au Tableau 4.4, la superficie sylvicole totale dans le Cercle de Koutiala ne représente que 1% de la superficie totale. Le développement de la sylviculture permettra un accroissement de la superficie sylvicole régionale de 3% afin de couvrir les besoins de consommation futurs de la population en bois. Les productions totales de bois de chauffe et de service, ainsi que le disponible par habitant sont présentés au Tableau 4.13. Ces niveaux de production sont réalisés à partir du choix de deux types d'options techniques de sylviculture dont les principales caractéristiques (tableaux intrants/extrants) sont présentées en Annexe 4.8.

4.6.6 Allocation de la main-d'œuvre

Dans la gestion de la main-d'œuvre, l'année a été divisée en 30 périodes et les besoins en main d'œuvre ont été estimés par période sur la base de la somme des besoins de toutes les activités exécutées au cours de cette période. En terme de restriction sur l'utilisation des ressources disponibles (Sous-section 3.3.1), le besoin total en main-d'œuvre ne doit pas dépasser la disponibilité totale en main-d'œuvre pour une période donnée. L'Analyse de la disponibilité de la main-d'œuvre au cours de l'année montre que la main-d'œuvre constitue une contrainte au cours de certaines périodes de pointes de l'année (Tableau 4.12) : la première décennie de mai, la deuxième décennie de juin et la deuxième décennie de novembre :

1. *la première période du mois de mai*, qui correspond à la période de démarrage de la campagne agricole, est marquée par l'importance des besoins en main-d'œuvre pour le transport de fumier notamment ;
2. *la deuxième décennie du mois de juin* est une période où il y a un chevauchement des activités de labours et des premiers sarclages,
3. *la deuxième décennie du mois de novembre* est marquée par l'intensité et le chevauchement des récoltes des différentes cultures.

Pendant ces périodes le besoin total en main-d'œuvre est très élevé et atteint son maximum. Le coût d'opportunité d'une journée de travail (homme-jour) est ainsi de 410, 1044, et 1718 F CFA respectivement pour ces trois périodes (Tableau 4.12).

⁴² Cette estimation est faite pour la population du Cercle en l'an 2010 estimée à 564926 habitants sur la base de la population de 1987 avec un taux de croissance de 3% environ.

Tableau 4.12. Besoin et coût d'opportunité de la main-d'œuvre pour les périodes de pointe de l'année.

Périodes	mois	décades	besoin main-d'œuvre (en 100 hj)	totalcoût d'opportunité main-d'œuvre (F CFA hj ⁻¹)	Répartition du besoin par type d'activités (%)			
					élevage	cultures	sylviculture	autres ⁴³
4	mai	1	3107	410	9	28	3	60
8	juin	2	3107	1044	9	90	1	0
23	novembre	2	3107	1718	9	88	1	2

4.6.7 Indicateurs de rentabilité du système de production durable

La productivité économique du système de production durable de l'agriculture mixte (scénario perspective : SPI) a été évalué en fonction de : *la valeur du revenu brut de production* ainsi que la contribution des différentes composantes du système (cultures, élevage, sylviculture) ; et *le niveau du coût total de production* qui mesure l'envergure des investissements à effectuer dans chaque activité de production. D'autres indicateurs de rentabilité tels que *le revenu net total*, *le revenu net par unité de surface*, *le revenu net par habitant*, et *le revenu net par homme-jour travaillé*, ont été aussi évalués.

- **Le revenu brut de production** représente la valeur de tous les extrants produits dans le système. *Les cultures* apportent la contribution la plus importante (66%) à la constitution du revenu brut. Parmi les cultures, le coton, le mil et le maïs ont les contributions les plus élevées avec respectivement 33, 30 et 24% du revenu brut total. Ceci s'explique par les niveaux de production et de productivité très élevés indiqués au Tableau 4.13. La place du coton comme culture de rente est renforcée et les céréales jouent quand à elles, un rôle mixte de culture vivrière et de culture de rente. Ce niveau de contribution important du coton indique aussi l'importance de cette culture dans la satisfaction de l'objectif de maximisation du revenu régional qui est l'objectif prioritaire fixé dans ce scénario perspective d'un développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala. La part de *l'élevage* (lait et viande) et celle de la *sylviculture* (bois de chauffe et bois de construction) dans la valeur de production, se situent à 32% et 2% respectivement.

⁴³ Autres travaux (transport de fumier ; transport de résidus de récolte)

Tableau 4.13. Productivité du système de production durable de l'agriculture mixte et des trois conditions de non-durabilité.

	unités	SPI** (Scénario perspective)	II*	III*	IV*
<i>Allocation globale des terres</i>					
Superficie totale (Cercle Koutiala)	km ²	9075	9075	9075	9075
cultures	%	25	28	29	29
pâturages		72	69	68	68
sylviculture		3	3	3	3
<i>Allocation des terres par spéculation</i>					
Cultures (total)	km ²	229	2560	2614	2657
céréales	%	58	53	55	48
coton		28	29	29	27
légumineuses		14	6	5	7
cult. fourragères		0	12	12	18
<i>Niveau de durabilité</i>					
bilan MO	kg ha ⁻¹	2288	2119	1974	1448
bilan N		0	-8	-12	-7
bilan P		0	0	0.5	1
bilan K		0	-1	-4	-4
<i>production agricole (grain)</i>					
mil	10 ³ t	311	297	209	121
sorgho		77	156	173	74
maïs		341	120	94	50
niébé		7	7	7	9
arachide		40	13	6	6
coton		129	134	112	81
céréales (total)		729	573	476	245
légumineuses (total)		47	20	13	15
<i>Production par hectare et par culture</i>					
mil	kg ha ⁻¹	4.3	3.5	2.7	1.6
sorgho		5.9	4.8	3.5	2.1
maïs		7.1	6.1	4.8	3.3
niébé		1.6	1.5	1.2	1.1
arachide		1.3	1.1	0.8	0.5
coton		2.0	1.7	1.5	1.1
<i>production animale</i>					
Cheptel	UBT total	370	356	348	345
production de viande totale	10 ³ t	33	32	31	31
par UBT	kg UBT ⁻¹	89	92	90	90
par habitant		58	56	55	55
production de lait totale	10 ³ t	79	77	76	76
par UBT	kg UBT ⁻¹	215	217	219	221
par habitant		140	136	134	134
<i>production sylvicole</i>					
production de bois de service totale	10 ³ m ³	96	96	96	96
par habitant	m ³ pers ⁻¹	0.17	0.17	0.17	0.17
production de bois de chauffe totale	10 ³ m ³	677	677	677	677
par habitant	m ³ pers ⁻¹	1.2	1.2	1.2	1.2
<i>Indicateurs économiques</i>					
revenu net total	10 ⁹ F CFA	41	39	35	28
revenu net ha ⁻¹	10 ³ F CFA	97	91	82	65
revenu net habitant ⁻¹	10 ³ F CFA	74	65	58	46
revenu net hj ⁻¹ travaillé	F CFA	701	700	675	647
coût d'opportunité épuisement ⁴⁴ par ha	F CFA	0	3125	6121	4140

** I = Condition de durabilité absolue (Scénario perspective) ; * (II, III, IV) = Conditions de non-durabilité

⁴⁴ Il s'agit de la valeur des quantités d'éléments nutritifs épuisés, évaluées sur la base de leur prix au marché (cf. Section 4.7).

- **Le coût total de production** représente la valeur de tous les intrants investis dans les activités de production (agriculture, élevage et sylviculture). *Le coût de production des cultures* est le plus important avec 81% du coût total. Le coût d'achat des fertilisants représentent 64% du coût total de production des cultures à cause du fait que toutes les options techniques analysées sont des options alternatives, intensives et durables avec un apport important de fertilisants (fumier, N, P, K) pour préserver l'équilibre du bilan des éléments nutritifs. La condition de durabilité absolue entraîne ainsi des investissements financiers très importants, qui ne pourraient vraisemblablement être réalisés sans l'apport du crédit agricole. Car ces investissements doivent être réalisés en début du cycle de production. C'est pour cette raison que l'acquisition du crédit agricole pour l'achat d'intrants a été incluse dans les contraintes et restrictions (Sous-section 3.3.1.). La part de *l'élevage et de la sylviculture* dans le coût total de production est assez faible (8 et 4% respectivement). Signalons que les chiffres concernant l'élevage n'incluent que les intrants monétaires car les coûts liés aux résidus de récolte utilisés comme fourrage n'ont pas été considérés. Ceci indique que les coûts de production de l'élevage ont été sous-estimés. En compensation ces résidus n'ont pas non plus été valorisés dans le revenu brut des cultures qui a donc aussi été sous-estimé. La conséquence en est que c'est l'élevage qui profite de la forte intégration avec l'agriculture en utilisant la forte production de résidus et fanes. L'élevage fournit ainsi 32% du revenu brut total avec seulement 8% du coût total.
- **Le revenu net total** généré par l'ensemble des activités (cultures, élevage, sylviculture) du système de production durable de l'agriculture mixte analysé dans ce scénario perspective a été estimé sur la base de la différence entre revenu brut de production et coût total de production. Le revenu net par hectare est de l'ordre de 97 000 F CFA, celle par habitant de 74000 F CFA (Tableau 4.13). En matière de productivité du travail le revenu net par homme-jour est évalué à 700 F CFA, soit une valeur un peu plus élevée que le prix moyen d'une journée de travail dans le Cercle de Koutiala. Les valeurs de l'ensemble de ces indicateurs montrent un niveau de rentabilité élevée des investissements réalisées en matière d'intensification pour la réalisation d'un système de production durable. Dans la Section 4.7 des analyses de sensibilité ont été menées afin de voir la sensibilité de ces résultats aux différentes conditions de non-durabilité. Dans le Chapitre 5, l'analyse des systèmes de production non durables a été faite ainsi qu'une comparaison de ces résultats avec ceux obtenus dans ce scénario perspective d'un développement agricole durable (SPI), en vue de dégager les écarts entre situation actuelle et perspective et de prendre les mesures politiques qui s'imposent pour les corriger.

4.7 Analyses de sensibilité du changement de condition de durabilité

Dans les critères de définition des options techniques d'intensification, quatre types d'options techniques ont été définis selon quatre condition de durabilité (Figure 4.4, Sous-section 4.5.2) :

- **niveau intensif avec durabilité absolue (I)** qui correspond au niveau d'intensification où tout l'engrais (100%) nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs est apporté ;
- **niveau intensif avec non-durabilité de 25% (II)** qui correspond au niveau d'intensification où 75% seulement de l'engrais nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs est apporté ;
- **niveau intensif avec non-durabilité de 50%(III)** qui correspond au niveau d'intensification où 50% seulement de l'engrais nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs est apporté ;

- **niveau intensif avec non-durabilité de 75% (IV)** correspond au niveau d'intensification où 25% seulement de l'engrais nécessaire à établir le bilan des éléments nutritifs est apporté.

Les résultats analysés précédemment dans la Section 4.6, ont été obtenus dans la condition de durabilité absolue (I) en utilisant les options techniques alternatives, intensives et durables comme pièces maîtresses des analyses avec le Modèle Régional de Koutiala (MRK) dans le cadre du scénario perspective SP1. Dans ce chapitre des analyses de sensibilité ont été faites pour explorer les effets du changement de condition de durabilité sur les résultats du scénario perspective (SPI). Ces analyses de sensibilité ont été effectuées en utilisant successivement les options techniques définies dans les trois conditions de non durabilité (II, III, IV), comme pièces maîtresses des analyses. Il est important de signaler que les autres conditions du scénario perspective (objectifs, prix, etc.) n'ont pas changé et l'intégration agriculture-élevage telle que décrite sur la Figure 4.3 reste valable. C'est en quelque sorte le même système de production de l'agriculture mixte, dans lequel on fait varier la condition de durabilité de l'absolue à la non-durabilité, en diminuant l'apport d'intrants externes, à travers le changement de types d'options techniques analysées. Les effets du changement de condition de durabilité ont été analysés en comparant les résultats du Scénario perspective (SPI) en condition de durabilité absolue avec les résultats des trois conditions de non-durabilité (II, III, IV). Cette comparaison (Tableau 4.13) concernera :

- l'allocation des ressources en terres,
- les niveaux production agricole et de production animale,
- les indicateurs économiques de rentabilité,
- les facteurs qui expliquent les différences entre résultats obtenus.

Les principales tendances constatées en passant de la condition de durabilité absolue, aux conditions de non-durabilité (II, III, IV) sont les suivantes :

Changement dans le mode d'allocation des terres

- **Augmentation de la part de terres allouée aux cultures** (d'environ 11%) en passant de la condition de durabilité absolue aux conditions de non-durabilité (Tableau 4.13). Les superficies cultivées augmentent pour compenser la baisse de productivité, car la condition de maximisation du revenu et de satisfaction des besoins de consommation sont toujours exigées.
- **Diminution de la superficie allouée aux pâturages** au profit de l'agriculture en passant de la condition de durabilité absolue aux conditions de non-durabilité (II).
- **Superficie minimale constante pour la sylviculture** à cause de l'exigence de la satisfaction des besoins de consommation en bois.

Baisse de la production agricole

En passant de la condition de durabilité absolue (SP1) aux conditions de durabilité : la production de céréales (graines) baisse de 17 à 49%, et celle de coton baisse notamment dans les conditions III et IV de 16 à 28%. Les principaux facteurs qui expliquent cette baisse du niveau de production sont les niveaux de rendements plus bas à cause des bilans négatifs. Dans la condition de durabilité absolue, toutes les options techniques de cultures choisies ont des rendements très élevés correspondant aux niveaux de rendements cibles (Figure 4.4) et un bilan équilibré des fertilisants (MO,

N, P, K) sans épuisement du sol. Cependant dans le cas des conditions non-durables où l'apport d'engrais est insuffisant, l'épuisement du sol ne compense que partiellement les éléments nutritifs de l'engrais. Par conséquent la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures est plus basse dans les conditions non-durables ce qui entraîne aussi des niveaux de rendements assez bas.

Production et modes de gestion des résidus de récolte et fanes

- **Baisse de la production de résidus de céréales et de fanes de légumineuses** en passant de la condition de durabilité absolue aux conditions de non-durabilité (Figure 4.9B et C). Les raisons d'une telle baisse de la production des résidus sont les mêmes que celles explicitées pour la production agricole (principale). A savoir, qu'en condition de non-durabilité il y a une faible disponibilité en éléments nutritifs à cause d'un faible apport d'engrais qui n'est pas totalement compensé par l'épuisement du sol. Cette faible disponibilité en éléments nutritifs, entraîne ainsi des bilans négatifs (Tableau 4.16) et des bas niveaux de rendements (Tableau 4.14).
- **Initiation de la production fourragère en condition de non-durabilité** : le choix des cultures fourragères a été initié avec le *Stylosanthes hamata* qui est intégré dans le système au niveau II, III et IV, et l'*Andropogon gayanus* qui est intégrée dans le système en plus du *Stylosanthes* au niveau IV. Il y a donc une réduction des superficies de céréales et de légumineuses au profit d'une plus grande intégration des cultures fourragères. Ceci entraîne une forte baisse de la production des résidus de céréales et des fanes de légumineuses dans les conditions de non-durabilité (II, III et IV) qui est compensée par une production fourragère élevée de *Stylosanthes hamata* et d'*Andropogon gayanus* (Figure 4.9A). La production fourragère est donc surtout initiée et stimulée en condition de non-durabilité pour compenser le faible apport d'azote provenant des engrais. Cette intégration des cultures fourragères permet aussi de satisfaire les besoins d'alimentation du bétail, car la disponibilité en résidus et fanes a beaucoup diminué avec la chute des rendements des céréales et légumineuses en conditions de non-durabilité. Ce qui permet de maintenir toujours un niveau de production animale satisfaisant. La réduction des terres de pâturages au profit d'une augmentation des terres de cultures (« extensification ») est aussi l'une des raisons de l'initiation de la culture fourragère pour les besoins d'intensification de l'élevage.
- **Modes d'utilisation des différents types de fourrage en condition de non-durabilité (II, III, IV) :**
 1. *le paillage* est une pratique bien suggérée pour les résidus de coton et de maïs, car elle permet de recycler les éléments nutritifs et d'augmenter la disponibilité interne en fertilisants. Le bilan positif en phosphore et potasse pour les niveaux de durabilité III et IV, est essentiellement du au paillage important de la totalité des résidus de maïs et tiges de coton (Tableau 4.15).
 2. les résidus de mil, de sorgho, et le foin de *Stylosanthes* sont principalement exploités par le bétail comme *fourrage au champ* ;
 3. les fanes de légumineuses (niébé, arachide) et le foin d'*Andropogon gayanus* sont ramassés et stockés en totalité pour l'alimentation du bétail.

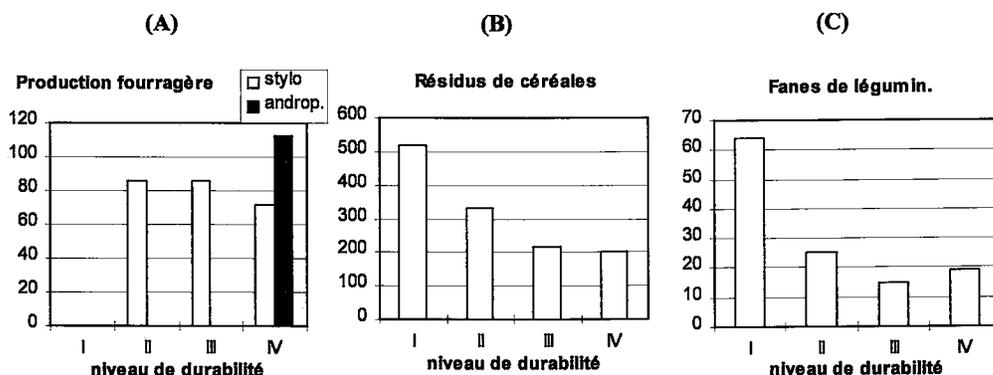


Figure 4.9. Production de résidus de récolte par condition de durabilité (en 1000 tonnes).

Tableau 4.14. Niveaux de rendement par type de résidus de récolte et par condition de durabilité.

rendement résidus/fanes	kg ha ⁻¹	I	II	III	IV
Mil		7.1	5.9	4.6	2.6
Sorgho		7.8	6.5	4.8	2.8
Maïs		6.5	5.6	4.4	3.1
Niébé		1.7	1.5	1.2	1.2
Arachide		1.9	1.6	1.3	0.8
Coton		3.8	3.4	2.8	2.1
<i>Stylosanthes hamata</i>		ns*	2.8	2.8	2.8
<i>Andropogon Gayanus</i>		ns	ns	ns	8.3

*ns : non sélectionnée dans cette condition de durabilité

Tableau 4.15. Production et modes de gestion des résidus et fanes par niveau de durabilité.

		unités	mil	sorgho	maïs	niébé	arachide	coton	stylo	Andropogon
I	production	totale 10 ³ t	520	103	311	7	57	247	0	0
	fouillage	au champ%	62	0	100	0	0	100	0	0
	fouillage	stocké	38	0	0	100	100	0	0	0
	paillage		0	100	0	0	0	0	0	0
II	production	totale 10 ³ t	495	208	109	7	18	253	85	0
	fouillage	au champ%	82	100	100	0	0	0	100	0
	fouillage	stocké	18	0	0	100	100	0	0	0
	paillage		0	0	0	0	0	100	0	0
III	production	totale 10 ³ t	350	231	85	7	8	212	85	0
	fouillage	au champ%	93	69	0	0	0	0	100	0
	fouillage	stocké	7	31	0	100	100	0	0	0
	paillage		0	0	100	0	0	100	0	0
IV	production	totale 10 ³ t	202	98	45	9	8	155	111	71
	fouillage	au champ%	100	100	0	0	0	0	100	0
	fouillage	stocké	0	0	0	100	100	0	0	100
	paillage		0	0	100	0	0	100	0	0

Bilan par type de fertilisants

- Épuisement des sols en condition de non-durabilité** : Rappelons que l'équation du bilan établie à la Section 4.5.1, indique que pour un type d'éléments nutritifs donné, sa disponibilité totale doit être supérieure ou égale à son besoin total pour que le bilan soit positif ou en équilibre. Cette condition est absolument satisfaite dans le scénario perspective (SPI). Mais dans les conditions de non-durabilité (II, III, IV), le besoin en éléments nutritifs est supérieur à la disponibilité, car l'apport d'intrants externes ne suffit pas pour établir l'équilibre du bilan des éléments nutritifs qui est donc négatif. Ceci crée une situation d'épuisement des sols. Cependant, la situation est différente selon le type de fertilisant.
- L'azote facteur limitant des sols en condition de non-durabilité** : L'analyse du bilan par type d'élément nutritif montre (Figure 4.10 et Tableau 4.16) que dans les conditions de non-durabilité, c'est l'azote (N) qui constitue la principale contrainte au niveau des deux principaux types de sols cultivées (limon-argileux et limoneux). Concernant le phosphore (P) son déficit

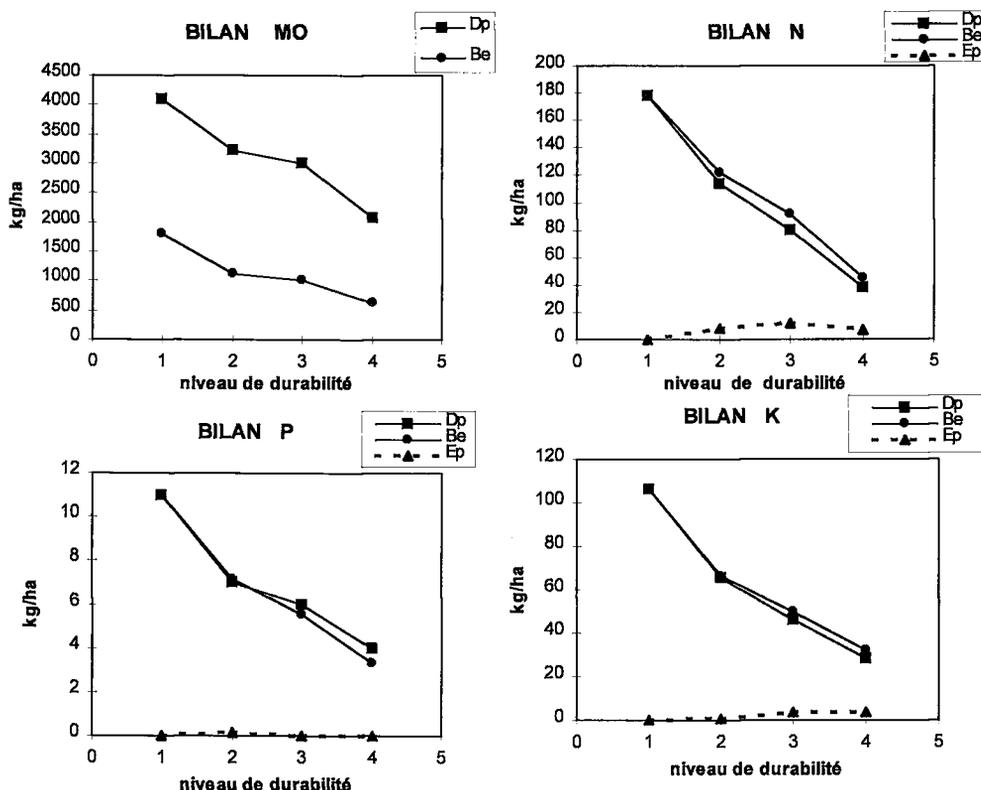


Figure 4.10. Bilan par type de fertilisants et par condition de durabilité (1,2,3,4). (Dp = disponibilité, Be= besoin, Ep = épuisement)

Tableau 4.16. Bilan des fertilisants par niveau de durabilité (valeurs moyennes⁴⁵ en kg ha⁻¹).

		niveau de durabilité			
		I	II	III	IV
Disponibilité (kg ha ⁻¹)	MO	4096	3228	2990	2078
	N	178	114	79	37
	P	11	7	6	4
	K	106	65	46	28
Besoin (kg ha ⁻¹)	MO	1808	1109	1016	629
	N	178	122	91	44
	P	11	7.14	5.51	3.33
	K	106	65.61	50	32
Bilan (kg ha ⁻¹)	MO	2288	196	305	192
	N	0	-8	-12	-7
	P	0	-0.14	0.49	0.67
	K	0	-0.61	-4	-4

est atténué par la forte intégration des légumineuses et des cultures fourragères au niveau des conditions de non-durabilité. En ce qui concerne la potasse (*K*) son déficit est beaucoup moins accentué par rapport à l'azote. Quant à la matière organique, son bilan est excédentaire, à cause de la très forte production de fumier venant du recyclage des résidus et fanes en élevage, mais aussi à cause de la pratique du paillage notamment pour les résidus de sorgho, maïs et coton. Cette différence entre la dynamique du bilan des éléments nutritifs (N, P, K) d'une part et celui de la matière organique (ou carbone C) d'autre part, a pour conséquence qu'en effet le taux de matière organique dans le sol augmente, mais que sa 'qualité' diminue, c.-à-d. que le rapport C/N et le rapport C/P dans la matière organique du sol augmentent. Il faut bien se réaliser que le modèle régional (PLBM) est un modèle statique, qui ne tient pas compte d'un état de décomposition plus poussée du matériel végétal avec un rapport C/N plus élevée. Il est donc possible que la disponibilité des éléments nutritifs provenant de la contribution des matériaux organiques soit surestimée. Cependant cette imprécision est négligeable comparée à l'incertitude concernant les valeurs des coefficients de décomposition de la matière organique appliqués dans le générateur des coefficients techniques (GTC). On a besoin d'un modèle beaucoup plus détaillé pour tenir compte de la dynamique et de la qualité de la matière organique dans les processus de décomposition.

- **La disponibilité interne et externe en fertilisants :** Dans le système intensif durable de l'agriculture mixte, l'intégration agriculture-élevage crée une disponibilité en fumier qui contribue aussi à établir l'équilibre du bilan de la matière organique. *L'importance des différentes sources de disponibilité* en fertilisants (MO, N, P, K) par condition de durabilité est fournie dans les résultats du modèle régional (MRK). La matière organique provient à 100% de l'apport interne :

⁴⁵ Le bilan des fertilisants a été globalement estimé pour l'ensemble de la superficie totale cultivée par condition de durabilité. Les chiffres de ce tableau sont les valeurs moyennes estimées en kg/ha (tous types de sol et toutes cultures confondues).

c'est-à-dire, la quantité générée dans le système par les activités de transformation des résidus (paillage, broutage au champ) et l'apport de fumier. Pour l'azote, sa disponibilité provient essentiellement de l'apport externe en engrais. Cet apport est de 80% pour la situation de durabilité absolue et diminue jusqu'à 56% dans la condition de non-durabilité IV. Cette tendance est la même pour les deux autres éléments nutritifs P et K, dont la disponibilité provient d'ailleurs en totalité de l'apport interne (notamment paillage des résidus) dans la condition de non-durabilité IV.

Stagnation de la production animale

- **Taille du cheptel** : Le nombre d'UBT total a diminué d'environ 7% en condition de non-durabilité par rapport à la condition de durabilité absolue du scénario perspective (SP1).
- **Niveau de production lait/viande** : Malgré cette réduction de cheptel, le niveau de production est resté plus ou moins stable (Tableau 4.13), à cause d'une légère augmentation de la productivité du bétail de 3% environ, c'est-à-dire, le niveau de production par UBT. Cette légère augmentation de productivité du bétail s'explique par l'intégration de la production fourragère en condition de non-durabilité, qui a permis d'augmenter la disponibilité fourragère pour le bétail. *Les stratégies d'alimentation du bétail* repose toujours sur la supplémentation basée sur l'exploitation des résidus de céréales, et de la production fourragère.

Effets sur les valeurs des indicateurs économiques

En conditions de non-durabilité (II, III, IV), *la contribution de l'agriculture dans le revenu brut total* diminue jusqu'à 48% par rapport à 66% en condition de durabilité absolue (Tableau 4.36). Ceci indique le passage d'une agriculture fortement intensive avec des niveaux de rendements élevés à une agriculture de plus en plus extensive avec des rendements plus bas. L'augmentation de la *contribution de l'élevage* est la conséquence de la chute de la contribution de l'agriculture. Cet accroissement relatif du rôle de l'élevage est accompagné d'une intégration de la culture fourragère dans le système. Il y a une *forte réduction des coûts de production* en conditions de non-durabilité (II, III, IV), car les investissements en intrants sont beaucoup moindres par rapport à la condition de durabilité absolue. Mais cette faiblesse des investissements en intrants se fait au dépend d'un épuisement des éléments nutritifs dans le sol. Par ailleurs, les niveaux de revenus nets sont beaucoup plus bas, car la productivité de l'agriculture a beaucoup chuté. Dans les conditions de non-durabilité (II, III, IV), le coût d'opportunité de l'épuisement représente la valeur des quantités de fertilisants épuisés, évaluée à leur prix d'achat au marché. Le coût de l'épuisement représente 3, 8 et 7% du coût total de production et 2, 5 et 4% du revenu net, respectivement pour les conditions de non-durabilité II, III et IV. Les niveaux de revenu net ainsi que les valeurs des autres indicateurs de rentabilité sont aussi très basses par rapport au niveau obtenu en condition de durabilité absolue (Tableau 4.13).

4.8 Conclusions

Dans ce chapitre, l'analyse des potentialités en ressources terres du Cercle de Koutiala a révélé qu'une proportion importante des terres est gravillonnaires et peu profonds, donc inaptes à l'agriculture. Un scénario de développement basé sur un système de production durable de l'agriculture mixte intégrant étroitement les activités d'agriculture, d'élevage et de sylviculture, a été défini sur la base de l'importance et de la qualité des ressources en terres (substrats) disponibles ainsi que le potentiel en main-d'œuvre de la région. Dans un tel système, le concept de durabilité a été essentiellement basé sur l'équilibre du bilan des éléments nutritifs, pour éviter l'épuisement des sols. Ces résultats d'analyse du scénario perspective (SPI) ont montré qu'une forte intensification agriculture-élevage en parfaite intégration et en condition de durabilité absolue, permet non seulement de satisfaire les besoins actuels et futurs de la population de la région, mais aussi de dégager un revenu maximum avec des excédents de production. Des analyses de sensibilité ont été effectuées, pour analyser les effets de changement de durabilité sur les résultats. Les principaux résultats tirés de ces différentes analyses (Tableau 4.13), démontrent que dans les conditions de non-durabilité, les niveaux de production et de revenus nets sont beaucoup plus faibles et il y a des processus d'épuisement chimique et de dégradation des terres, avec des options techniques ayant une faible productivité. Les principaux résultats obtenus dans les différentes conditions d'analyse peuvent se résumer comme suit :

En condition de durabilité absolue (SPI)

- Forte production agricole et animale.
- Options techniques intensives durables à haute productivité.
- Coût de production élevé.
- Revenu net élevé par habitant et unité de surface.

En conditions de non-durabilité (II, III, IV)

- Diminution progressive de la production agricole.
- Baisse de la productivité avec des options techniques non-durables avec épuisement des sols.
- Augmentation des superficies cultivées (extensification).
- Baisse des niveaux de revenu net par unité de surface et par habitant.

Ces résultats démontrent aussi le rôle de la modélisation en tant qu'instrument de suggestion et d'aide à la prise de décision, qui indique les types de résultats auxquels on pourrait s'attendre, dans telle ou telle condition technique ou socio-économique, dans le cadre d'un scénario de développement bien défini. Les résultats d'analyse du scénario perspective (SPI) sont comparés aux résultats des analyses des systèmes de production non durables pratiqués par les différents types de ménage paysan dans le Cercle de Koutiala (Chapitre 5). Une telle comparaison permettra de d'identifier les écarts entre situation actuelle et situation désirée en matière de développement agricole durable et de dégager les mesures politiques qui s'imposent.

5 Systèmes de production agricole non-durables

5.1 Introduction

Le problème de dégradation des ressources naturelles a été souligné (Chapitres 1 et 2) comme contrainte majeure de développement agricole durable dans les pays de l'Afrique subsaharienne. Au Mali, l'acuité du problème a été focalisée sur le Cercle de Koutiala, qui a été choisi comme zone de recherche dans cette étude. Le maintien du potentiel productif des sols ainsi que l'augmentation de la productivité agricole seront compromis à long terme si les paysans n'abandonnent pas les pratiques non durables qui épuisent les sols, au profit d'options techniques alternatives, intensives et durables.

Le système de production agricole durable de l'agriculture mixte analysé au Chapitre 4, a un niveau de productivité et de durabilité beaucoup plus élevé que les systèmes non durables actuels ; cependant la pratique d'un tel système au niveau ménage-paysan est une perspective à long terme conditionnée par un ensemble de mesures tant agro-techniques que politiques. Dans ce chapitre, l'approche modélisation des ménages-paysans (Chapitre 3, Section 3.5 et 3.6) a été utilisée pour analyser la productivité des systèmes de production actuels non-durables au niveau des différents types de ménage-paysan dans le Cercle de Koutiala. Pour cette analyse, un premier scénario de base (SB1) a été formulé pour les analyses d'optimisation au niveau ménage-paysan. Les principaux objectifs retenus dans la formulation de ce scénario de base (SB1) sont la maximisation de la fonction d'utilité de consommation et du revenu net (Section 5.2). La disponibilité en ressources : terre, main-d'œuvre et capital (équipement et bétail) des trois principaux types de ménages-paysans retenus pour les analyses, a été analysée (Section 5.3). Les conditions d'analyse exogènes (climat et prix) ont aussi été précisées dans la Section 5.4. Les options techniques non-durables ont été définies (Section 5.5) sur la base d'un certain nombre de critères, et incluses comme pièces maîtresses des analyses avec le modèle ménage-paysan. Les coefficients techniques (tableaux intrants/extrants) des options techniques non-durables ont été estimés à partir des données de base collectées au niveau des différents types de ménages-paysans échantillons du suivi-évaluation permanent (SEP 1992-1993) de l'équipe DRSPR-Sikasso.

Les résultats d'analyse des systèmes de production non-durables de ce premier scénario de base (SB1) qui constituent la situation de référence actuelle du niveau de développement de la région ; sont présentés par type de ménage-paysan (Section 5.6). Ces résultats permettent de spécifier les stratégies d'allocation des ressources et de production adoptées par chaque type de ménage-paysan, en vue de la maximisation de la fonction d'utilité de consommation et du revenu net. L'analyse de ces résultats (Section 5.6) concernera :

- les modes d'allocation des ressources en terres,
- les niveaux de production agricole et de production animale,
- les niveaux de revenus par type de ménage-paysan,
- la comparaison de la structure de production est donnée de la situation observée par type de ménage-paysan avec les résultats du modèle,
- L'estimation des résultats au niveau régional (Section 5.7), sur la base des résultats individuels et du nombre total par type de ménage-paysan,
- La comparaison avec les résultats d'analyse du système intensif durable de l'agriculture mixte analysée au Chapitre 4, dans le cadre du scénario perspective SP1 du modèle régional. Cette comparaison concerne l'allocation des terres, les niveaux de productivité et de production, ainsi que les niveaux de revenus et de durabilité. Cette comparaison permettra de mesurer l'écart entre la situa-

tion actuelle de la région et *la situation future* (perspective) et de dégager les mesures politiques qui s'imposent pour stimuler un développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala.

5.2 Formulation du scénario de base (SB1)

5.2.1 Objectifs prioritaires au niveau ménage-paysan

Les perspectives d'un développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala, ont été analysées (Chapitre 4, Scénario I) en considérant comme principaux objectifs de développement : la maximisation du revenu régional, la garantie de la sécurité alimentaire des populations et la durabilité à travers la pratique d'options intensives durables. Comme déjà abordé dans le Chapitre 4 (Section 4.2), il doit y avoir une interrelation entre choix des objectifs au niveau national et régional et choix des objectifs au niveau ménage-paysan. Car les ménages-paysans sont les vrais acteurs du développement agricole chez lesquels se réalisent les activités de production.

Ainsi les deux premiers objectifs choisis au niveau régional s'articulent bien avec ceux considérés au niveau paysan. Cependant concernant l'objectif de durabilité, les ménages-paysans ont tendance à prioriser les objectifs immédiats de sécurité alimentaire à travers la garantie de l'autoconsommation, ainsi que la maximisation de revenu net au profit d'un épuisement des terres par la pratique d'options techniques de cultures non-durables. La *fonction objectif* formulé⁴⁶ dans le scénario de base des analyses au niveau paysan, inclut donc d'une part (Equation A3.2.1, Annexe 3.2), la maximisation de l'utilité de consommation, et d'autre part la maximisation du revenu net. Le revenu net a été exprimé en terme de revenu net corrigé en tenant compte du coût d'opportunité de l'épuisement en condition de non-durabilité (bilan de la matière organique). La *fonction-objectif* est ainsi exprimée en fonction des deux objectifs principaux (Equation A3.2.7, Annexe 3.2). Les coefficients ω_1 et ω_2 correspondent respectivement aux poids des deux objectifs dans la fonction-objectif. L'hypothèse de base considérée est dans la fonction-objectif au niveau paysan, la maximisation de l'utilité de consommation a le score (ω_1) le plus important (80%), par rapport à celui (ω_2) du revenu net (20%). Le choix de cette hypothèse de base se justifie par le fait que les ménages-paysans ont une stratégie de production basée essentiellement sur la maximisation de l'aversion du risque de sécurité alimentaire (Hazell & Norton, 1986 ; Kruseman *et al.*, 1993).

Une relation a été établie entre revenu et niveaux de consommation dans le module budget/consommation des ménages-paysans pour l'estimation des coefficients d'utilité de consommation des différents produits alimentaires (céréales, légumineuses, produits d'élevage, autres) et non-alimentaires. Cette estimation a été faite sur la base des données d'enquête budget/consommation des ménages-paysans réalisée au Mali par la Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique (DNSI, 1988/89).

⁴⁶ La formulation mathématique de la fonction objectif et des différentes variables et restrictions du modèle ménage-paysan est donnée dans l'annexe 3.2.

5.3 Disponibilité en ressources et moyens de production

Dans le Cercle de Koutiala, les analyses se sont limitées aux trois principaux types de ménages-paysans (A, B, C) dont les caractéristiques ont été décrites selon la typologie élaborée et utilisée par les structures d'encadrement/vulgarisation (CMDT) et de recherche dans la zone (DRSPR, 1993) : Le type A est bien équipé pour la culture attelée, possédant au moins une charrette, un troupeau de plus de 10 bovins, y compris deux paires de bœufs d'attelage. Le type B dispose d'au moins une paire de bœufs de labour et d'une unité de culture attelée, avec un troupeau de bovins de moins de 10 têtes, y compris les bœufs d'attelage. Le type C⁴⁷ est non équipée ou dispose souvent d'un équipement incomplet pour la culture attelée et de très peu d'animaux. Dans le Cercle de Koutiala, ce sont les exploitations de type A et B qui prédominent avec respectivement 46% et 40% du nombre total de ménage-paysan. La disponibilité en ressources au niveau de chaque type de ménage-paysan (Tableau 5.1) correspond à la situation actuelle et reflète la description faite dans la typologie concernant le niveau d'équipement, le nombre d'animaux possédés, la disponibilité en terres de culture, la taille de famille et le nombre d'actifs familiaux.

Tableau 5.1. Moyens de production et ressources disponibles par type de ménage-paysan

type de ménage-paysan	A	B	C
nombre total	9092	7905	2784
taille de famille	25.1	11.9	8.5
main-d'œuvre(actifs)	11.8	5.7	3.9
terre de culture (ha) ⁴⁸	17.8	10.1	5.8
cheptel (UBT total) ⁴⁹	20.6	4.4	1.2
bœufs de labour	5.8	2.7	1.0
charrues	2	1.1	0.6
multiculteur	1.8	1.0	0.3
semoirs	1.0	0.3	0.1
appareil ulv	1.1	0.6	0.2
charrettes	1.5	0.7	0.2
ânes	1.2	0.7	0.2

Source : Adapté de CMDT (1994) - Résultats de l'enquête agricole permanente 1993/1994.

5.4 Conditions d'analyse

L'approche modélisation des ménages-paysans est aussi basée sur la technique de programmation linéaire qui optimise le choix des activités de production en fonction d'une série de contraintes

⁴⁷ le nombre de ménage-paysan de type C a été majoré du nombre très faible de type D (dans le tableau original), car ce type purement manuel est presque inexistant dans le CERCLE de Koutiala.

⁴⁸ La disponibilité relative en terres de pâture par type de ménage-paysan a été effectuée (Sous-section 5.5.1) en fonction de l'importance du cheptel.

⁴⁹ Cette estimation du cheptel total inclus les bœufs de labour.

(Hazell & Norton, 1986). Les analyses d'optimisation par type de ménage-paysan ont été exécutées en incluant un certain nombre de restrictions prenant en compte les contraintes de disponibilité en ressources et équipement face aux besoins des multiples activités de production qui seront choisies pour maximiser l'utilité de consommation et le revenu net. Il y a aussi les conditions climatiques et les conditions de prix.

- **Contrainte terre** : le besoin total en terres pour les différentes activités de production doit être inférieur ou égal à la disponibilité en terres au niveau de chaque type de ménage-paysan. Dans l'utilisation des terres ce sont des activités de production de cultures pures qui ont été décrites et analysées (Section 5.5). Cependant une restriction a été incluse concernant la superficie en coton qui doit être inférieure ou égale au tiers de la superficie totale cultivée par ménage-paysan. Ceci pour tenir compte de la possibilité de rotation en vigueur dans le système actuel.
- **Main-d'œuvre** : le besoin total en main-d'œuvre pour les différentes activités de production doit être inférieur ou égal à la disponibilité en main-d'œuvre au niveau de chaque type de ménage-paysan.
- **Contrainte équipement** : le besoin total en matériel d'équipement (labour notamment) pour l'ensemble des activités de production, doit être inférieur ou égal à la disponibilité totale en équipement au niveau de chaque type de ménage-paysan.
- **Conditions climatiques** : Les analyses s'effectuent dans les conditions de pluviométrie d'une année normale. La pluviométrie moyenne d'une année normale dans le Cercle de Koutiala a été estimée à 855 mm an⁻¹, sur la base de la série des données pluviométriques pluri-annuelles (1950 -1981) de la station météorologique de Koutiala.
- **Conditions de prix** : Les niveaux de prix considérés sont les prix moyens des intrants et extrants présentés au Chapitre 4, Tableau 4.7. Un coût de transaction équivalent à 40% du prix du marché a été considéré pour les engrais aussi bien que les extrants produits (mil, sorgho, maïs, coton, niébé et arachide).

Concernant le crédit « intrants » aucune contrainte n'a été incluse à cause de l'hypothèse que sa disponibilité est assurée par l'organisme d'encadrement principal : la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT) en liaison avec la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA).

5.5 Options techniques de cultures non-durables

Les systèmes de production constituent l'ensemble des combinaisons de productions et de facteurs de production (terre, travail, capital) qui résultent du choix effectué par le ménage-paysan, en fonction des objectifs visés, des conditions naturelles, de la structure de l'exploitation, de la gestion foncière, de son niveau technique et des possibilités du marché. Dans le Cercle de Koutiala, les ménages-paysans, ont investi et épargné les revenus tirés de la culture du coton, dans l'achat de bétail.

Le système de production actuellement en vigueur est donc un système intégré agriculture-élevage dans lequel l'élevage a pris de l'importance avec cet accroissement du cheptel. Dans ce système intégré l'élevage fournit la force de traction et le fumier pour les activités de production des cultures et bénéficie de leurs sous-produits. L'importance de cette intégration varie selon le type de ménage-paysan. Cependant ce système n'est pas durable comparativement au système de production intensif durable de l'agriculture mixte défini dans le scénario I (Figure 4.3, Chapitre 4) ; à cause de la pratique du système de rotation traditionnel de type coton-céréales dans lequel l'apport d'engrais

s'effectue surtout sur le coton, et les céréales bénéficient de l'arrière-effet de la fertilisation du coton. L'évaluation de la durabilité d'un tel système a révélé en effet (van der Pol, 1992) que le bilan des éléments nutritifs est négatif et qu'il contribue à l'épuisement des sols. La pratique de tels systèmes est basée sur des options techniques non-durables.

5.5.1 Critères de définition

Pour les besoins des analyses avec la procédure de modélisation des ménages-paysans, un certain nombre de critères ont été retenus afin de définir et décrire quantitativement les options techniques de cultures actuelles. Les principaux critères retenus pour cette description intrants/extrants des options techniques sont : le type de sol, l'année pluviométrique normale, les techniques de production, le mode d'utilisation des résidus de récolte, les mesures de conservation de l'eau et du sol (anti-ruissellement).

Types de cultures

Les cinq principales spéculations considérées sont celles qui sont pratiquées dans les systèmes de culture de la zone de Koutiala : le coton, les mils/sorgho, le maïs, l'arachide et le niébé. Ces différentes cultures sont pratiquées sur l'ensemble de la zone sans distinction. En plus de la mécanisation, le coton bénéficie relativement plus des facteurs d'intensification tels que les produits phytosanitaires, les engrais et les semences sélectionnées. Pour une comparaison avec la méthodologie appliquée dans l'analyse des perspectives d'une agriculture durable, seules les cultures pures ont été considérées, et les cultures associées n'ont pas été intégrées dans les analyses.

Types de sol

Ce sont les mêmes types de sol qui ont été considérés au niveau du Cercle (Chapitre 4, Sous-section 4.2.2) ; c'est-à-dire les sols d'écoulement (EC), les sols gravillonnaires (GR), les sols limon-argileux (LIAR), les sols limoneux (LIMO) et les sols limon-sableux fins (LISA-f) ; dont les principales caractéristiques ont été présentées dans le Chapitre 4 (Section 4.2.2).

Niveaux de production

Pour les systèmes de production actuels, trois niveaux de production ont été considérés : le niveau extensif, semi-intensif et intensif (Hengsdijk *et al.*, 1996). Les niveaux de production des activités de cultures actuelles représentent les systèmes de cultures courants dans le Cercle de Koutiala avec des bilans négatifs pour la matière organique et les autres éléments nutritifs. C'est-à-dire que les besoins annuels en éléments nutritifs pour la production dépassent les quantités d'intrants appliquées. Ce qui résulte d'un épuisement d'éléments nutritifs dans le sol et d'une situation de non-durabilité des options techniques actuelles. En matière de pratique agricole, ce sont les données du suivi-évaluation permanent de l'équipe systèmes de Sikasso (DRSPR, 1993) qui ont été utilisées pour estimer et générer les coefficients techniques (tableaux intrants/extrants) des options techniques de culture non-durables actuelles à l'aide du générateur de coefficients techniques (GCT, Hengsdijk *et al.*, 1996).

Techniques de production

Les techniques de production sont influencées par la traction animale qui constitue un élément d'intensification de la culture du coton favorisée par des actions diverses dont les prêts 'premier équipement' initiés par la CMDT en collaboration avec la DRSPR. La plupart des opérations culturales sont mécanisées, à l'exception de la récolte, aussi bien pour le coton que pour les autres cultures. *Les mesures de conservation de l'eau et du sol (techniques anti-ruissellement)* concerne la pratique du billonnage simple ou cloisonné.

Modes d'utilisation des résidus

Les stratégies d'utilisation des résidus distinguées sont : (i) le ramassage et le stockage des fanes et d'une partie non moins importante des résidus de récolte et (ii) la pâture directe des résidus par les animaux sur les champs et le brûlage des restants des résidus en début de saison.

Ces différents critères ont été combinés pour définir les options techniques chaque type de culture, résultant ainsi d'une multitude d'options techniques dont quelques exemples sont présentés en Annexe 5.1.

Description quantitative intrants/extrants des options techniques

La description quantitative consiste à présenter les coefficients techniques des options techniques sous forme de tableaux intrants-extrants, avec les différentes caractéristiques agro-techniques. Dans le module des activités de production, il y a une combinaison d'inputs bien définis qui est utilisée pour la production d'extrants donnés. Ces extrants sont d'une part les produits principaux pour la consommation humaine et le marché, les résidus de récolte pour l'alimentation du bétail. Les besoins en intrants incluent la main-d'œuvre, la traction animale, les intrants monétaires (semences, pesticides) et les fertilisants (fumier et engrais). Pour la main-d'œuvre et la traction animale cinq périodes ont été distinguées en tenant compte des pics des activités de production.

5.6 Systèmes de production non durables (scénario de base SB1) : résultats d'optimisation par type de ménage-paysan

L'analyse des systèmes de production non durables a été faite par type de ménage-paysan. Dans le module de production, ce sont les options techniques non durables qui ont été incluses comme pièces maîtresses des analyses. Dans les résultats le modèle fournit pour chaque type de ménage-paysan : la stratégie de gestion des terres (structure de production) qui permet d'atteindre les objectifs de maximisation du revenu net et de l'utilité de consommation. Les niveaux de productivité technique et économique des systèmes non durables sont aussi fournis à travers les niveaux de rendements des cultures et les revenus par hectare et par personne.

5.6.1. Allocation des terres

Allocation globale des terres

Terres de culture

Dans la méthodologie adoptée, les analyses avec le modèle des ménages ont été faites pour les types de ménages-paysans A, B, C du Cercle de Koutiala en utilisant les données moyennes concernant la disponibilité en ressources présentée au Tableau 5.1 : population (taille de famille) terres, équipement, bétail. Concernant les terres de culture, la superficie moyenne cultivée par type de ménage-paysan est de 17.84 ha 10.12 ha, 5.8 ha respectivement pour les types A, B, C. La répartition de cette superficie par culture (structure de production) sera analysée par type de ménage-paysan dans le cadre du scénario de maximisation de la fonction d'utilité de consommation et du revenu net. Concernant la sylviculture, elle a un niveau d'intégration assez faible ou presque inexistant au niveau exploitation agricole.

Disponibilité en pâturages

Dans le processus de modélisation des ménages-paysans, la terre est une ressource importante pour la pratique des activités de cultures aussi bien que d'élevage. Dans le mode d'exploitation actuelle des terres dans le Cercle de Koutiala, les pâturages ont le statut de terres communes, et leur exploitation est libre. Pour les besoins d'analyse, l'estimation de la disponibilité relative en terres de pâturages pour les troupeaux de chaque type de ménage-paysan a été faite sur la base de l'importance du cheptel possédé, et de la disponibilité moyenne de pâturages (ha UBT⁻¹) au niveau de l'ensemble de la région. En effet, vu le mode d'exploitation libre et inorganisée des pâturages, la part de chaque unité de production dans les terres communes n'est pas fixée dans la pratique. Ainsi, la superficie disponible en pâturages, par type de ménage-paysan a été estimée en considérant une hypothèse de base selon laquelle : la part de chaque type de ménage-paysan dans cette superficie commune est proportionnelle au nombre d'UBT qu'elle possède. En effet, c'est à travers son bétail que l'éleveur s'approprie une fraction des parcours disponibles, et celle-ci dépend donc de la taille du troupeau possédé. La disponibilité moyenne de pâturages (ha UBT⁻¹) dans le Cercle de Koutiala a été calculée en faisant le rapport du cheptel total sur la superficie totale de pâturages disponible dans le Cercle, soit une disponibilité moyenne⁵⁰ de 2.83 ha UBT⁻¹. La disponibilité relative en terres de pâture pour les troupeaux par type de ménage-paysan a été estimée ainsi selon l'importance du cheptel possédé (Tableau 5.2).

Tableau 5.2. Disponibilité relative en pâturages par type de ménage-paysan.

	A	B	C
Nombre UBT total	20.65	4.36	1.23
Disponibilité en pâturages			
moyenne régionale (ha UBT ⁻¹)	2.83	2.83	2.83
disponibilité totale estimée (ha)	58.51	12.34	3.48

⁵⁰ Ce niveau est légèrement surestimé si on suppose que la région est aussi fréquemment sous la pression d'éleveurs transhumants non-résidents dans la région.

Allocation des terres aux cultures (structure de production)

Dans la procédure de modélisation des ménages-paysans (Singh *et al.*, 1986 ; Bade *et al.*, 1997) le processus de prise de décision du ménage-paysan est caractérisé par le choix d'une combinaison d'activités (ou options techniques) qui est conditionné par les contraintes agro-techniques et socio-économiques endogènes aussi bien qu'exogènes (Figure 5.1). Les différents types de ménages-paysans ont adopté des stratégies d'allocation des terres aux cultures en fonction de la disponibilité en ressources (terre, main- d'œuvre, capital) et des objectifs visés. La structure de production suggérée (Tableau 5.3) pour la maximisation de la fonction d'utilité de consommation et du niveau de revenu net par type de ménage-paysan est ainsi le résultat du processus d'optimisation avec le modèle ménage-paysan. La *structure de production choisie* par type de ménage-paysan montre une *prédominance des légumineuses* dans les systèmes de production non durables. La superficie en céréales, coton et légumineuses est relativement plus importante chez le ménage-paysan de *type A*, bien équipée, avec une taille de famille beaucoup plus importante. La maximisation du revenu repose par contre essentiellement sur le coton, mais aussi sur les légumineuses. Cette importance des légumineuses dans les systèmes de production non durables s'explique par le fait que ces cultures sont favorisées en condition de non durabilité à cause de leur effet bénéfique sur le sol, et de leur faible exigence en fertilisants comparativement aux autres cultures. Il y a aussi leur prix intéressant et leur rôle important dans l'alimentation des animaux (bœufs de labour notamment). La stratégie de maximisation du revenu au niveau des ménages-paysans B et C est aussi basée sur le coton et le niébé mais la contrainte d'équipement et de disponibilité en ressources limite les superficies en coton et céréales intensives au niveau des types B et C (moins équipés par rapport au type A.

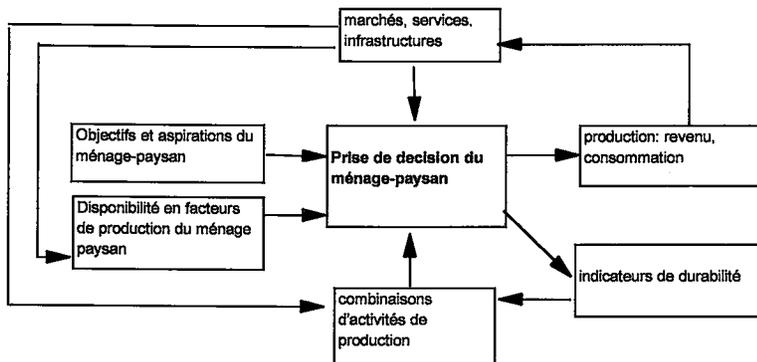


Figure 5.1. Processus de prise de décision du ménage-paysan (Source : Bade *et al.*, 1997).

Tableau 5.3. Productivité des systèmes de production non-durables par type de ménage-paysan.

	Unités	A	B	C
<i>Superficie totale cultivée</i>	ha	17.8	10.1	5.8
<i>Allocation des terres aux cultures</i>				
Mil	%	13	9	9
Sorgho		15	12	11
Maïs		9	7	7
Coton		17	27	42
Niébé		42	41	29
Arachide		5	5	1
Total		100	100	100
<i>Allocation des terres aux spéculations</i>				
Céréales	%	36	28	27
Coton		17	27	42
Légumineuses		47	45	31
Total		100	100	100
<i>Niveau de durabilité</i>				
bilan MO	kg ha ⁻¹	-1357	-1138	-850
bilan N		-39	-40	-42
bilan P		-6	-4	-6
bilan K		-21	-15	-12
<i>Production totale</i>				
Céréales	kg	6805	2744	1359
Coton	"	4857	4216	3408
Légumineuses	"	3734	2036	799
<i>Production par hectare</i>	kg ha ⁻¹			
Céréales	"	189	98	50
Coton	"	290	156	81
Légumineuses	"	79	45	26
<i>Production par personne</i>	kg pers. ⁻¹			
Céréales	"	271	231	160
Coton	"	194	354	401
Légumineuses	"	149	171	94
<i>Cheptel</i>	UBT	21	4.4	1.2
<i>Production de lait</i>				
totale (kg an ⁻¹)	10 ³ t	4.95	0.7	0.17
par UBT	kg	235	160	138
par personne	kg	197	59	20
<i>Production de viande</i>				
totale (kg an ⁻¹)	10 ³ t	1.75	0.22	0.04
par UBT	kg	83	51	33
par personne	kg	70	19	5
<i>Indicateurs économiques</i>				
revenu net total	F CFA	1319826	459537	243107
coût d'opportunité épuisement	"	292521	88495	23081
revenu net corrigé	"	1348708	570778	329788
% coût épuisement dans revenu net total	%	18%	13%	7%
revenu net par hectare	F CFA	74235	45413	42155
revenu par actif	"	111850	80621	62335
revenu net par personne	"	52583	38617	28601
revenu net par homme-jour	"	509	475	467

Source : résultats d'optimisation avec le modèle ménage-paysan (scénario de base SB1)⁵¹

⁵¹ A noter que les données concernant les superficies moyennes, l'équipement et d'autres données de base qui ont servi à calculer les coefficients techniques des options techniques proviennent des données de base du suivi-évaluation permanent de l'Equipe DRSPR-Sikasso (SEP, 1992-93).

5.6.2 Productivité des systèmes de production agricole non-durables

Processus d'optimisation et choix des options techniques de cultures

Dans ce processus les différentes étapes sont les suivantes :

1. Le choix de la fonction-objectif qui correspond ici à la maximisation du revenu net et de l'utilité de consommation.
2. Le processus d'optimisation oriente le ménage-paysan à mieux gérer ses terres, en choisissant une structure de production permettant une utilisation efficiente des ressources en terres disponibles. *Le modèle affecte ainsi aux différentes cultures les superficies respectives pour atteindre les niveaux de production nécessaires pour la satisfaction des objectifs fixés.*
3. Le modèle simule le comportement du paysan par le choix d'une combinaison d'options techniques parmi les différentes options techniques de cultures définies, correspondant à celles qui doivent être pratiquées pour atteindre les objectifs de production ainsi que la maximisation du revenu net et de l'utilité de consommation.
4. Le choix des options techniques se fait en tenant compte des niveaux de rendements et des besoins en intrants ainsi que des contraintes de disponibilité en ressources (terres, main-d'œuvre) et équipement. Dans le processus d'optimisation, le choix du modèle est orienté sur les options techniques qui ont la meilleure productivité et la meilleure rentabilité (ratio coût bénéfice plus bas).

Production agricole

Les niveaux de production obtenus par type de culture dans le processus d'optimisation sont présentés par type de ménage-paysan au Tableau 5.3. Les différences de niveau de production entre type de ménage-paysan sont assez importantes : *le type A* possède des niveaux de production en céréales et coton et légumineuses beaucoup plus élevés que les types B et C. Les principaux facteurs qui déterminent les niveaux de production par type de ménage-paysan sont : (i) la taille de la famille (nombre de bouches à nourrir) et nombre d'actifs familiaux, (ii) le niveau d'équipement, (iii) les niveaux de rendement et les types d'options techniques de cultures choisies dans le processus d'optimisation pour chaque type de ménage-paysan. En effet le type A qui dispose de plus de terre et de moyens de production a des niveaux de production (totale et par hectare) beaucoup plus élevés que les types B et C. Les différences entre niveaux de production des types B et C ne sont pas très significatives. Cependant la production par personne semble plus basse (notamment pour le coton) au niveau du type A avec une taille de famille plus importante.

Bilan des éléments nutritifs (MO, N, P, K)

Comme déjà spécifié dans la section 5.4, toutes les options techniques décrites sur les bases de données actuelles ont des bilans d'éléments nutritifs négatifs. Ce qui signifie que les systèmes de production sont non durables avec un épuisement des sols. Le bilan moyen (kg ha^{-1}) par type d'élément nutritif a été estimé (Tableau 5.3) au niveau de chaque type de ménage-paysan (A, B, C) sur la base des données de la combinaison d'options techniques retenues respectivement (Tableaux en Annexe 5).

Production animale

Le cheptel est beaucoup plus important pour le type de ménage-paysan A, suivi du type B, en comparaison au type C qui n'a pratiquement pas d'animaux (Tableau 5.1). La production de lait et de viande est par conséquent plus importante au niveau des types A et B. La part des bovins dans la production de lait et de viande est beaucoup plus importante que celle des petits ruminants. Au niveau de tous les trois types de ménage-paysan toute la production de viande et de lait est principalement destinée à satisfaire les besoins de consommation.

Les activités d'élevage ont été définies et décrites pour les troupeaux bovins, ovins, caprins et bœufs de labour ; avec objectifs de production : le lait, la viande, et la traction et trois niveaux de production (dont 1 extensif, et 2 semi-intensifs) ainsi que les besoins correspondants en matière organique digestible pour les réaliser. Dans l'exploitation des pâturages, c'est le régime d'exploitation continue pendant toute l'année qui a été considéré. L'estimation de la valeur nutritive des pâturages de la région et de leur contribution dans l'alimentation du bétail a été faite sur la base de l'approche décrite par Breman & De Ridder (1991).

Parmi les options définies, la pratique d'élevage choisie est un type d'élevage de troupeaux, extensif (pour B et C) et semi-intensif (pour A). En matière d'alimentation du bétail, la stratégie dominante est basée sur l'exploitation des pâturages (fourrages herbacés et ligneux) en toute saison, et une exploitation des résidus de récolte sur les champs en période post-récolte. Une faible proportion des résidus de céréales est transportée et stockée. Ce sont surtout les fanes de légumineuses (arachide et niébé) qui sont transportées et stockées pour la supplémentation du bétail en saison sèche, notamment des bœufs de labour.

Niveaux de revenus

Dans le scénario (SB1) visant à maximiser l'utilité de consommation et le revenu net (en condition de non-durabilité), *le coton* est la culture de rente qui constitue la principale source de revenu pour tous les types de ménages-paysans, avec une forte contribution dans la *formation du revenu brut*. Au niveau de tous les types de ménage-paysan, la contribution des *cultures* dans la formation du revenu brut total est plus importante que celle de *l'élevage*. Chez les types B et C avec très peu d'animaux, la contribution de l'élevage est assez minime (Figure 5.2). Quant à la *source de revenu hors-ferme*, sa contribution n'a été estimée que sur la base de la rémunération des actifs familiaux travaillant comme salariés hors-ferme. Les autres sources de revenus hors-ferme comme l'exode, la cueillette (etc.), n'ont pas été incluses dans cette estimation. La part du revenu hors-ferme dans le revenu brut total, est plus élevé pour le type C qui pratique beaucoup plus le travail salarié hors-ferme.

Le niveau de *revenu net total* (Tableau 5.3) du ménage-paysan de type A est beaucoup plus élevé que ceux des types B et C. Ceci est lié à un niveau de *productivité par hectare* beaucoup plus élevé chez le type A. *Le revenu net par personne et par actif* est aussi plus élevé pour le type A, cependant concernant le *revenu net par homme-jour*, la différence semble moins accentuée, il est de l'ordre de 500 F CFA pour les trois types (A, B, C). Ce qui indique qu'il n'y a pas une différence assez significative entre types de ménage-paysan concernant la productivité du travail. Le revenu net a été corrigé en tenant compte du coût d'opportunité des éléments nutritifs épuisés dans le sol. La valeur de ce coût d'opportunité de l'épuisement représente 18, 13 et 7% du revenu net chez les ty-

pes A, B et C respectivement. Ceci signifie que les ménages-paysans A, B et C réalisent respectivement 18%, 13% et 7% de leurs revenus sur la base de l'épuisement des terres.

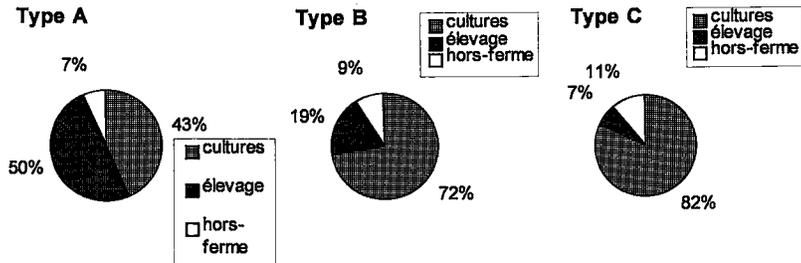


Figure 5.2. Contribution des principales sources de revenus dans la formation du revenu brut total par type de ménage-paysan.

Source : résultats d'optimisation avec le modèle ménage-paysan (scénario de base SB1)

Gestion de la main-d'œuvre

Cinq périodes principales consacrées aux travaux agricoles ont été distingués au cours de l'année. La première période (P1) correspond à celle des travaux de préparation du sol, P2, la période de semis, P3, celle des premiers sarclages, P4, celle des deuxièmes sarclages, P5, celle des récoltes. Une sixième période représentant le reste de l'année, correspond à la période morte pour les travaux agricoles et n'a pas été incluse dans les analyses. La disponibilité en main-d'œuvre a été estimée pour chaque période (en homme-jour) sur la base de la durée de la période et du nombre total d'actifs disponible dans le ménage concerné. Les activités de cultures (du semis à la récolte) prennent l'essentiel de la disponibilité en main-d'œuvre (Tableau 5.4) à cause de l'importance des différents travaux agricoles (labour, sarclage, récolte et transport des résidus de récolte). En élevage les besoins en main-d'œuvre concernent l'entretien des différents troupeaux (bovins, petits ruminants) et des bœufs de labour. L'utilisation de main-d'œuvre pour l'élevage est plus importante (notamment en période 2) au niveau du type A avec un cheptel plus grand. Au cours des périodes 1, 2 et 3, il n'y a pratiquement pas de contrainte de main-d'œuvre, et il y a une main-d'œuvre familiale hors-ferme, qui va travailler comme salariée, soit sur d'autres exploitations, soit dans d'autres secteurs (comme ouvriers urbains par exemple). La période 5 est la période critique pour la main-d'œuvre notamment au niveau des types de ménages-paysans A et B qui sont des utilisateurs de main-d'œuvre salariés au cours de cette période. Ce déficit en main-d'œuvre est causé par l'importance et le chevauchement des travaux agricoles (récolte coton, céréales, transport de résidus et fanes, etc.). Le type C, a par contre beaucoup moins de contrainte de main-d'œuvre que les autres, et pratique ainsi beaucoup plus le travail salarié hors-ferme.

Tableau 5.4. Disponibilité et besoin d'utilisation de la main-d'œuvre par période et par type de ménage-paysan.

	disponibilité totale (hj)	besoin total (hj)	Besoin Cultures (%)	besoin élevage (%)	bilan par période (hj)	Main-d'œuvre salarisée externe (hj)	Main-d'œuvre familiale hors-ferme (hj)
<i>Ménage A</i>							
Période 1	1345	379	88	12	966	0	71
Période 2	684	684	60	40	0	0	0
Période 3	684	593	92	8	91	0	36
Période 4	684	265	83	17	419	0	36
Période 5	1038	1358	75	25	-320	320	0
<i>Ménage B</i>							
Période 1	650	180	95	5	470	0	34
Période 2	330	270	81	19	60	0	17
Période 3	330	330	97	3	0	0	0
Période 4	330	132	93	7	198	0	17
Période 5	412	477	86	14	-65	65	0
<i>Ménage C</i>							
Période 1	445	101	98	2	344	0	23
Période 2	226	147	90	10	79	0	12
Période 3	226	226	99	1	0	0	12
Période 4	226	65	97	3	161	0	12
Période 5	226	216	91	9	10	0	12

5.6.3 Comparaison de la structure de production obtenue dans les résultats d'optimisation avec la situation observée : validation des résultats du modèle

La comparaison de la structure de production obtenue dans les résultats d'optimisation avec la situation observée (Tableau 5.5) montrent quelques différences majeures relatives au mode culturale et à l'importance des cultures dans le système de culture :

- Le premier constat est que le *choix d'une sole fourragère de légumineuses* dans la solution du modèle d'optimisation constitue une différence principale avec la situation observée (CMDT, 1994). En effet dans la situation traditionnellement observée, le niébé est cultivé en association avec les céréales (mil/sorgho). La superficie indiquée en pure est très faible comparativement à celle du résultat d'optimisation pour tous les types de ménage-paysan. L'intégration de la sole fourragère de niébé ou d'autres cultures fourragères exotiques telles que le *Stylosanthes hamata* (Kébé, 1993) dans le système traditionnel semble être la problématique majeure.
- Dans leur stratégie de maximisation de l'utilité de consommation et du revenu net en condition de non durabilité, les ménages-paysans ont tendance à augmenter la superficie en légumineuses, au profit d'une diminution de celle des céréales. La place du coton comme culture motrice dans le système est toujours maintenue.

Tableau 5.5. Structure de production par type de ménage-paysan : comparaison entre résultats d'optimisation (modèle) et situation observée.

	CMDT	scénario de base 1	CMDT	scénario de base 1	CMDT	scénario de base 1
<i>Superficie cultures (en ha)</i>						
Mil	4	2.2	3.4	0.9	1.5	0.5
Sorgho	6.2	2.6	2.8	1.2	2.2	0.6
Maïs	1.5	1.7	0.7	0.7	0.5	0.4
Autres céréales	0.1	0	0.2	0	0	0
Arachide	0.6	0.9	0.4	0.5	0.2	0.1
Niébé	0.2	7.4	0.2	4.1	0.1	1.7
Coton	4.5	3.0	1.6	2.7	1.0	2.5
Autres cultures	0.7	0	0.8	0	0.3	0
Superficie totale	17.8	17.8	10.1	10.1	5.8	5.8
<i>Superficie cultures (en %)</i>						
Mil	22	13	34	9	26	9
Sorgho	35	15	28	12	38	11
Maïs	8	9	7	7	9	7
Autres céréales	1	0	2	0	0	0
Arachide	3	5	4	5	3	1
Niébé	1	42	2	41	2	29
Coton	25	17	16	27	17	42
Jachère	0	0	0	0	0	0
Autres cultures	4	0	8	0	5	0
Superficie totale	100	100	100	100	100	100

Source : résultats d'optimisation avec le modèle ménage-paysan et CMDT, 1994

5.7 Comparaison des systèmes non durables (SB1) et du système intensif durable (SP1) : de la situation actuelle à la situation désirée

La comparaison des résultats d'analyse du système de production durable de l'agriculture mixte, analysé au Chapitre 4, dans le cadre du scénario perspective (SP1) avec ceux des systèmes non durables du scénario de base (SB1) a été faite concernant : les modes d'allocation des terres, les niveaux de production, de durabilité et les niveaux de revenus. Cette comparaison permet de mesurer les écarts entre situation actuelle et perspective afin de dégager les mesures politiques qui s'imposent pour stimuler les ménages-paysans vers la pratique d'options techniques alternatives, intensives et durables. Les indicateurs des objectifs de développement au niveau régional ont été estimés au niveau régional pour le scénario de base SB1, sur la base des résultats obtenus par type de ménage-paysan et du nombre total de ménages-paysans dans le Cercle de Koutiala. Les principaux indicateurs considérés dans cette estimation sont :

- la production agricole par hectare et par habitant,
- le cheptel et la production animale (lait et viande),
- le revenu par hectare et par habitant.

Les valeurs estimées de ces différents indicateurs au niveau régional représentent la situation actuelle de référence (scénario de base SB1) du Cercle de Koutiala, qui sera comparée avec celle du Scénario perspective (SP1) analysée au Chapitre 4. En plus de ces principaux indicateurs la stratégie de gestion des terres sera aussi comparée entre les deux situations présente et future.

5.7.1 Modes d'allocation des terres

Allocation globale des terres : situation actuelle et perspective

Le mode d'allocation globale (Figure 5.3) indiquée en perspective dans l'analyse du système de production intensif durable (Scénario perspective, Section 4.6) en comparaison avec la situation actuelle (pondération résultats ménages-paysans A, B, C), suggère que pour atteindre les objectifs de maximisation du revenu régional et de satisfaction des besoins de consommation il faut :

- **limiter l'extension des superficies cultivées par une forte intensification des cultures :** C'est-à-dire que la production agricole ne doit plus augmenter par un accroissement des superficies cultivées, mais par un accroissement de la productivité par unité de surface à travers l'intensification. Car la disponibilité en terres de culture de qualité est assez limitée dans le Cercle de Koutiala.
- **développer la sylviculture**, pour la satisfaction des besoins de consommation futurs en bois de la population et diminuer la surexploitation des ressources ligneuses ;
- **utiliser les terres en fonction de leur qualité et aptitude :** les activités de cultures et de sylviculture doivent être pratiquées et intensifiées sur les substrats les plus aptes (sols limon-argileux, limoneux et limon-sableux fins), et réserver les substrats inaptes (sols gravillonnaires et sols d'écoulement notamment) aux pâturages. Ceci favorisera une augmentation de la productivité et de la production agricole.
- **réduire la pression du bétail sur les pâturages en saison sèche** par la pratique de la supplémentation du bétail avec l'important stock de résidus et fanes, issu de l'intensification des cultures.

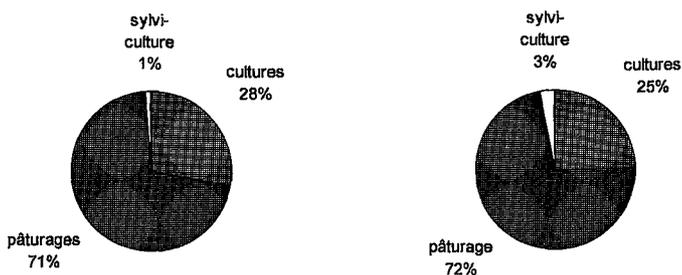


Figure 5.3. Allocation globale des terres dans le Cercle de Koutiala : Situation actuelle (SB1) Perspective (SP1).

Ces différentes orientations en matière de stratégies de gestion des ressources naturelles dans le Cercle doivent être favorisées par des mesures politiques d'accompagnement, notamment en matière de politique de sécurisation foncière (Chapitres 6 et 7).

Allocation des terres par spéculation

Comme l'ont révélé les analyses de sensibilité sur les niveaux de durabilité (Chapitre 4, Section 4.7), c'est en condition de non-durabilité que l'introduction des légumineuses dans le système est favorisée. Ceci à cause de leurs effets bénéfiques sur le sol, de leur moindre exigence en intrants par rapport aux autres cultures, et aussi pour leur rôle dans l'alimentation du bétail en augmentant la disponibilité fourragère. Cette différence dans la stratégie d'allocation des terres aux cultures est liée à quelques facteurs :

- La satisfaction et la garantie des besoins de consommation de la population future (an 2010) en céréales et autres produits alimentaires ont été imposées comme restriction dans le modèle, ce qui explique entre autres, l'importance des céréales dans la structure de production globale au niveau du scénario I (perspective) ;
- Dans la stratégie de maximisation du revenu net et de l'utilité de consommation en condition de non-durabilité les ménages-paysans ont tendance à :
 1. limiter les superficies en céréales pour la stricte consommation
 2. stabiliser la production cotonnière pour la maximisation des revenus
 3. augmenter la production de légumineuses pour d'une part maximiser les revenus et constituer des stocks fourragers importants pour la supplémentation du bétail. *En condition de non-durabilité, le choix des légumineuses est aussi favorisé par leur capacité amélioratrice des sols.*

5.7.2 Niveau de production et de productivité

Production agricole

La comparaison entre situation actuelle et scénario perspective (SPI) révèle aussi que les niveaux de production agricole (céréales, coton, légumineuses) obtenus dans le scénario perspective sont beaucoup plus élevés (Figure 5.4) par rapport à ceux de la situation actuelle estimée par agrégation sur la base du nombre total de ménages-paysans (A, B, C). La production agricole totale par type de ménages-paysans a été estimée par agrégation des niveaux de production moyenne avec le nombre total de ménage-paysans par type. La différence est beaucoup plus importante concernant les céréales, à cause surtout de l'exigence des besoins de consommation futurs (année 2010) de la population du Cercle.

Ces différences de niveaux de production entre scénario perspective (SP1) et situation actuelle (A, B, C) s'explique aussi par le niveau de productivité et de durabilité très élevée des options techniques de culture. En effet la comparaison entre les niveaux de rendement (Tableau 5.6), montre un écart très important entre rendements des options techniques actuelles et ceux des options techniques alternatives intensives du scénario I. En effet les options techniques alternatives retenues dans le système de production durable et rentable sont beaucoup plus intensives avec une productivité plus élevée à l'unité de surface comparativement aux options techniques actuellement pratiquées par les ménages-paysans. Ces options techniques alternatives sont aussi des options durables avec

un bilan en éléments nutritifs équilibré sans épuisement du sol. La question fondamentale qui se pose, est donc : quelles mesures politiques faudrait-il prendre pour stimuler les paysans à intégrer dans leurs pratiques, ces options plus intensives et durables.

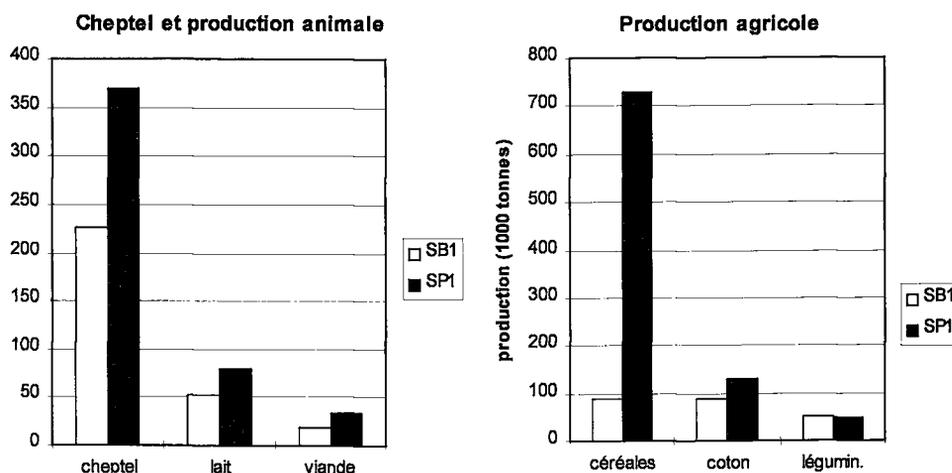


Figure 5.4. Niveaux de production agricole et animale totale : *situation actuelle (SB1) et perspective (SP1)*.

Production animale

Dans l'analyse des perspectives d'un développement agricole durable (Chapitre 4), le cheptel généré (370 000 UBT) dans la solution modèle régional de Koutiala pour le scénario perspective (SP1), est beaucoup plus important (Figure 5.4) que le cheptel actuel (226000 UBT)⁵². Le cheptel généré correspond en effet à celui qui doit contribuer à la maximisation du revenu régional et assurer les besoins de consommation futurs de la population (an 2010) de la région en lait et viande.

Cette augmentation du cheptel est accompagnée aussi d'une augmentation du niveau de productivité et de production. Ceci est dû à l'intensification et à l'intégration agriculture-élevage dans le système de production durable de l'agriculture mixte (Chapitre 4, Figure 4.3). L'élevage est lui-même intensifié par la supplémentation du bétail à base de l'importante production de résidus et de fanes provenant de l'intensification des cultures. Les systèmes d'alimentation du bétail (en saison sèche) sont basés essentiellement sur la pratique de la supplémentation par la constitution de stocks importants de résidus et de fanes. Ce qui fait que malgré une augmentation du cheptel, l'impact du bétail sur les pâturages est assez minime, car leur exploitation se fera principalement en saison de pluies, et la pratique de la supplémentation se fera en saison sèche pour atténuer les effets du bétail sur les parcours naturels.

⁵² Ce cheptel a été estimé sur la base du nombre d'animaux possédés par ménage-paysan pondéré par le nombre total de ménage-paysan dans chaque type.

Tableau 5.6. Niveaux des objectifs de développement au niveau régional : situation actuelle (SB1) et scénario perspective (SP1).

Indicateurs	Unités	Scénario de base 1(SB1) Systèmes non-durables ⁵³	Scénario Perspective I(SP1) Système intensif durable
Allocation des terres par spéculation			
	%		
Céréales		32	58
Coton		24	28
Légumineuses		44	14
Niveau de durabilité			
Bilan MO	kg ha ⁻¹	-1198	2288
Bilan N		-40	0
Bilan P		-5	0
Bilan K		-17	0
Production par hectare (rendement moyen)			
	kg ha ⁻¹		
Mil		1010	4300
Sorgho		1050	5900
Maïs		1250	7200
Niébé		460	1600
Arachide		440	1400
Coton		1420	2000
Production par hectare			
	kg		
Céréales		991	5779
Coton		1560	2042
Légumineuses		447	1520
Production par habitant			
	kg		
Céréales		239	430
Coton		287	228
Légumineuses		150	41
Production par UBT			
	kg		
Lait		230	261
Viande		80	89
Production par habitant			
	kg		
Lait		150	171
Viande		52	58
Revenu net total	10 ⁹ F CFA	21	42
Revenu net par habitant	10 ³ F CFA	47	74
Revenu net par hectare	10 ³ F CFA	58	97

Revenu par habitant

Dans cette étude de cas le scénario perspective (SP1) analysé au Chapitre 4 correspond à la situation désirée (point D) où les objectifs majeurs sont d'atteindre un revenu régional élevé, la sécurité alimentaire et la durabilité (absolue) des systèmes de production à long terme. La situation actuelle

⁵³ Les estimations présentées sont la moyenne pondérée des résultats des trois types de ménage-paysan (A, B, C) analysés à la Section 5.5.

(A) considérée ici correspond aux résultats d'analyse pondérés des ménages-paysans (A, B, C) avec le scénario de base (SB1). La Figure 5.5 indique un écart important entre situation actuelle (A) et Scénario perspective I concernant les niveaux de revenus et de durabilité. Cependant ce niveau de revenu du scénario perspective a été estimé dans des conditions favorables (pluviométrie normale, prix actuels). En considérant les conditions économiques défavorables (baisse des prix des extrants de 10%, et augmentation des prix des intrants de 10%) le niveau de revenu par habitant du scénario perspective baisse de 8%. Cela indique que la pratique du système intensif durable de l'agriculture est conditionnée à la nécessité de mesures politiques d'accompagnement (Figure 5.6).

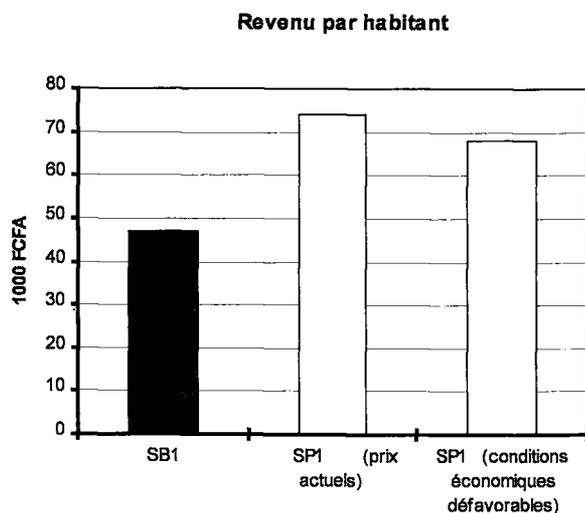


Figure 5.5. Revenu régional par habitant : comparaison de la situation actuelle (SB1) avec le scénario perspective (SP1) en conditions économiques actuels et défavorables.

5.8 Conclusions

Les résultats d'analyse à l'aide du modèle des ménages-paysans, ont montré que les différents types de ménages-paysans (A, B et C) ont adopté des stratégies différentes pour la maximisation de l'utilité de consommation et du revenu net. En effet, le niveau de disponibilité en ressources et en moyens de production (terre, équipement, main-d'œuvre, etc.) influencent de beaucoup le processus de prise de décision des ménages-paysans. Ainsi le niveau de production et de productivité du type A est beaucoup plus élevé que ceux des types B et C qui n'ont pas par contre une différence significative. La comparaison entre les résultats du modèle et la situation observée montre que dans l'objectif de maximisation de l'utilité de consommation et du revenu net, les ménages-paysans

ont tendance à diminuer la superficie en céréales, au profit d'une augmentation de la superficie en légumineuses et au maintien de la place du coton dans la structure de production.

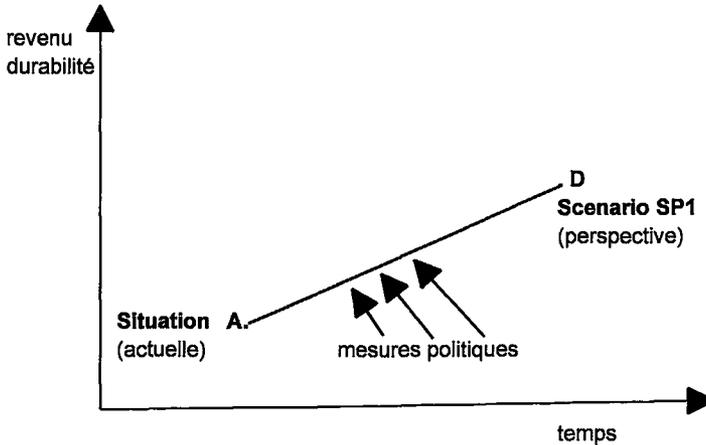


Figure 5.6. Nécessité de mesures politiques pour passer de la situation actuelle (SB1) à un développement agricole durable (SP1).

La comparaison des résultats du scénario SB1 estimés au niveau régional (situation actuelle) avec le scénario perspective (SP1) analysé au Chapitre 4, montre des écarts très importants quant au niveau de durabilité et au niveau de productivité technique et économique. La pratique du système de production intensif durable de l'agriculture mixte, exige la réduction de ces écarts et entraînent un certain nombre d'implications qui méritent d'être soulignées :

Implications au niveau ménage-paysan

- **La gestion des terres selon leur qualité et aptitude :** la gestion efficiente des ressources en terres est une condition indispensable à l'augmentation de la productivité agricole et à la promotion d'une agriculture durable. Les types de sols doivent ainsi être alloués aux activités de production en fonction de leur qualité et aptitude.
- **L'intégration de la sylviculture dans les systèmes de production :** La sylviculture est définie ici comme la production de bois (de chauffe ou de service) en parcelle pure. Sa pratique dans le Cercle de Koutiala est jusque là limitée le plus souvent aux actions des services forestiers pour l'entretien des forêts classées, et l'introduction des parcelles pures de ligneux au niveau villageois, dénommées «bosquets villageois». Dans le système de production intensif durable de l'agriculture mixte, le bois est considérée comme une spéculation qui doit être intégrée dans les exploitations agricoles à travers la pratique de la sylviculture. Ceci permettra de satisfaire les besoins de consommation futurs de la population en bois, et de réduire la pression et la surexploitation des ressources ligneuses.

- **L'introduction de la sole fourragère dans les systèmes de culture traditionnels** : L'insertion de la sole fourragère (Sous-section 5.6.3) demeure la différence fondamentale entre solution du modèle et situation observée. Elle constitue toujours un problème majeur face aux multiples contraintes qui l'entravent au niveau paysan. Elle crée en effet un besoin supplémentaire de main-d'œuvre pour l'entretien de la sole fourragère, entraînant dans certains cas, la saturation de la main-d'œuvre familiale disponible et le recrutement d'une main-d'œuvre salariée (Sissoko, 1993). Elle a cependant un effet positif sur l'amélioration de la productivité des systèmes de production traditionnels.
- **La pratique de la supplémentation du bétail** : Dans le système de production intensif durable de l'agriculture mixte, l'intensification de l'élevage est surtout réalisée à travers le transport, le stockage et l'utilisation des quantités importantes des résidus et fourrages dans la supplémentation du bétail. Cependant pour que les paysans puissent bien pratiquer la supplémentation du bétail, il faudrait que les contraintes concernant le transport et le stockage des fourrages soient levées. Selon (Camara, 1995), les contraintes qui pèsent sur la décision des producteurs en matière d'utilisation efficace des résidus de récolte dans le Cercle de Koutiala sont, entre autres, le manque ou l'insuffisance d'équipement et de main d'œuvre, la distance, le manque de financement et de moyens de stockage, et les contraintes d'ordre organisationnel. Parmi toutes les contraintes signalées, le manque ou l'insuffisance d'équipement semble la plus importante, notamment la non possession de charrette.

La pratique des options techniques alternatives (intensives et durables) : Pour que les ménages-paysans soient motivés à pratiquer la supplémentation et l'intensification élevage-agriculture, il faudrait que la rentabilité de l'investissement soit attrayante avec des prix incitateurs pour les produits agricoles aussi bien que les produits animaux. D'où la nécessité de prendre des mesures politiques d'accompagnement. Cet aspect sera analysé dans le prochain Chapitre (6). En ce qui concerne le niveau du revenu régional, il est parmi les principaux indicateurs importants du niveau de développement économique dans une région ; et son augmentation compte parmi les objectifs majeurs visés par les décideurs. La comparaison entre le niveau de revenu actuel (agrégation A, B, C) avec celui du scénario perspective (SP1) montre un écart important de près de 50%. Cependant l'analyse de sensibilité sur les conditions de prix a révélé que l'environnement économique est un facteur très déterminant qui influence les résultats du scénario perspective. Ceci implique que la pratique de l'intensification ne peut être bénéfique que dans des conditions économiques favorables. La nécessité de *mesures politiques* s'impose donc pour créer les conditions favorables et *stimuler les ménages-paysans* à aller de plus en plus dans la direction d'un développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala.

6 Mesures politiques pour stimuler un développement agricole durable

6.1 Introduction

En matière d'orientation politique au niveau national, les perspectives de développement agricole durable pour le Mali dépendent principalement de la performance du secteur agricole compte tenu de son importance dans l'économie nationale (près de 80% des exportations). Les objectifs de développement relatifs à la création d'emploi, à la lutte contre la pauvreté, la sécurité alimentaire, l'augmentation des recettes d'exportation et du budget de l'Etat nécessitent qu'une plus grande attention soit donnée au secteur agricole. Par ailleurs, la prévention de la dégradation des ressources naturelles est aussi nécessaire pour maintenir le potentiel productif des sols à moyen et long terme ; c'est-à-dire atteindre un niveau de durabilité de la production agricole pour les générations actuelles et futures.

Les principales orientations du Gouvernement du Mali en matière de développement rural sont axées sur les principaux objectifs suivants (Ministère du développement rural et de l'environnement, 1992) :

- la stabilisation économique basée sur la diversification et l'intensification des cultures de rente,
- le renforcement de l'intégration agriculture-élevage à travers des politiques de libéralisation des marchés et de décentralisation des agences de commercialisation,
- le renforcement de la sécurité alimentaire par une augmentation de la productivité,
- l'investissement dans les infrastructures rurales pour le désenclavement,
- le développement rural durable basé sur la prévention de l'érosion des sols et la pratique d'options techniques intensives durables au niveau ménage paysan.

L'identification des instruments de politique adéquats pour stimuler le développement agricole durable, est donc une nécessité pour freiner la dégradation des terres et garantir la sécurité alimentaire à court, moyen et long terme. L'identification des options politiques pour un développement durable nécessite un processus analytique prenant en compte :

1. les possibilités techniques et les contraintes de gestion des terres,
2. les ajustements possibles dans la structure de production des ménages paysans liés aux modifications dans l'environnement économique (marchés) et institutionnel (Reardon & Vosti, 1992) ;

L'efficacité des instruments de politiques pour influencer les comportements des ménages paysans est conditionnée d'une part par les *trade-off* possibles entre les différents objectifs de production et de consommation des ménages-paysans et d'autre part, par les inégalités de niveaux d'intégration des marchés et des attitudes envers le risque (Kuyvenhoven *et al.*, 1995 ; Kruseman *et al.*, 1995). La formulation de politique agraire pour un développement agricole durable peut être considérablement améliorée lorsque l'impact des instruments de politique sur les prises de décision des ménages paysans peut être prédit avec une précision raisonnable. L'approche modélisation des ménages-paysans (Chapitre 3, Section 3.5) a été utilisée pour analyser les réactions des ménages paysans aux différentes mesures politiques. Les résultats d'analyse des effets des instruments de politiques permettent aux décideurs politiques de sélectionner les instruments politiques appropriés pour atteindre les objectifs de développement agricole durable.

L'un des objectifs essentiels de cette recherche est donc de contribuer à la formulation et à l'analyse de mesures politiques permettant d'atteindre un développement agricole durable au niveau du Cercle de Koutiala en zone Mali sud. Dans cette zone le développement agricole est entravé par une baisse de la fertilité des sols et un accès limité aux techniques d'augmentation de la productivité agricole. Les efforts de recherche et de vulgarisation doivent donc être orientés sur la mise au point et la pratique d'options techniques intensives et durables (Breman & Sissoko, 1998) comme alternatives aux options techniques non durables qui sont sources d'épuisement des sols. La question fondamentale qui est posée est avec pertinence est : *Quelle mesures politiques faudrait-il pour inciter d'avantage les ménages paysans à adopter beaucoup plus les options techniques alternatives durables ?*

Les perspectives d'un développement agricole durable ont été abordées dans le Chapitre 4, à travers l'analyse du système de production durable de l'agriculture mixte basée sur la pratique d'options alternatives durables seulement (Scénario perspective I). Dans le Chapitre 5, les systèmes de production non durables (situation actuelle) ont été analysés dans le cadre du scénario de base 1. La comparaison (Chapitre 5, Section 5.7) des niveaux de productivité et de durabilité a montré un écart très important entre situation actuelle et scénario perspective (SP1) du modèle régional. C'est pour réduire cet écart que l'on procédera aux étapes d'analyses suivantes dans ce chapitre (Tableau 6.1) :

Tableau 6.1. Etapes chronologiques des analyses pour stimuler une production agricole durable au niveau ménage paysan.

	Conditions d'analyse	Objectifs d'analyse
Scénario perspective (SPI) modèle régional Koutiala	Options techniques alternatives	Analyse du système de production durable de l'agriculture mixte comme perspective d'un développement agricole durable (<i>Chapitre 4</i>)
Scénario de base 1 (SB1) modèle ménage paysan	Options techniques non durables	Analyse de la productivité des systèmes de production non-durables par type de ménage paysan (<i>Chapitre 5</i>)
Scénario de base (SB2) modèle ménage paysan	Options techniques non durables + options techniques alternatives	Analyse du taux d'adoption des options alternatives, intensives et durables, sans mesures politiques (<i>Chapitre 6</i>)
Scénarios de mesures politiques	options techniques non durables + options techniques alternatives	Analyse des effets des mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans en matière d'adoption des options alternatives durable et comparaison avec le scénario perspective (<i>Chapitre 6</i>)

1. **Analyse du scénario de base 2 (sans mesures politiques)** : Les analyses porteront tout d'abord sur un deuxième Scénario, nommé Scénario de base 2 (SB2) dans lequel on a procédé dans l'analyse avec le modèle ménage-paysan à l'intégration des options alternatives durables dans les systèmes de production non durables au niveau ménage paysan sans mesures politiques. Le

taux d'adoption des options alternatives⁵⁴ sans mesures politiques ainsi que les changements engendrés dans les valeurs des principaux indicateurs sont analysés dans la section 6.2.

2. **Analyse des scénarios de mesures politiques** : Des scénarios de mesures politiques seront ensuite formulés et analysés (Sections 6.3 et 6.4) pour permettre d'améliorer le taux d'adoption des options alternatives ainsi que les niveaux des objectifs de développement au niveau régional. Les effets de ces mesures politiques sur les comportements des ménages paysans seront aussi évalués en fonction des changements engendrés dans les valeurs des différents indicateurs avant et après application des mesures politiques.
3. **Comparaison des résultats** : Une comparaison est ensuite faite (Section 6.5) entre résultats du scénario perspective (SPI) et ceux des scénarios de base (SB1 et SB2) et des scénarios de mesures politiques. Cette comparaison (Tableau 6.6 et Figures 6.4 et 6.5) concernera les valeurs des indicateurs de développement au niveau régional, afin d'analyser l'impact des différentes mesures politiques sur l'orientation du développement au niveau du Cercle de Koutiala.
4. **Analyse de l'effet de l'agrégation de la production régionale sur l'équilibre du marché** : Dans l'analyse régionale, la fluctuation de l'offre régionale des produits de base tels que les céréales, peut avoir des effets pervers sur l'équilibre du marché et induire de nouveaux changements de prix. Une analyse sera faite à la sous-section 6.5.2, pour illustrer le cas d'un déséquilibre du marché du à la fluctuation de l'offre en céréales pour le cas de trois mesures politiques.

6.2 Introduction des options alternatives durables sans mesures politiques (scénario de base 2)

Structure de production et taux d'adoption des options techniques alternatives durables

Dans les analyses de la situation actuelle (avec le scénario de base 1), ce sont les options techniques non durables seulement qui ont été incluses comme pièces maîtresses dans le modèle ménage-paysan. Un deuxième type d'analyse a été fait avec le scénario de base 2, en incluant simultanément les options non durables actuelles avec bilan négatif en fertilisants (MO, N, P, K) et les options alternatives (intensives et durables) afin de les mettre en concurrence et d'analyser le taux d'adoption⁵⁵ de ces dernières.

Suite à l'analyse du scénario de base 2 on peut constater que les ménages-paysans continuent à pratiquer des options techniques non durables de céréales, de coton et de légumineuses, en combinaison avec quelques options techniques alternatives (intensives durables) de coton. L'analyse de la nouvelle structure de production par type de ménage paysan indique (Tableau 6.2) un taux d'adoption de 36% pour le type de ménage paysan A, à 18% et 9% pour les types B et C respectivement. L'adoption n'a concerné aussi que les options alternatives de coton et aucune option alternative de céréales et de légumineuses n'a été adopté. Le choix des options alternatives de coton s'explique par leur niveau de rentabilité beaucoup plus élevé (ratios coût/bénéfice plus bas) par rapport aux options alternatives de céréales et de légumineuses.

⁵⁴ Les options techniques alternatives correspondent aux options techniques intensives durables avec des doses de fertilisants assez élevées et des bilans d'éléments nutritifs équilibrés ou positifs.

⁵⁵ Le taux d'adoption des options alternatives est estimé ici selon leur pourcentage relatif dans la superficie totale cultivée par type de ménage paysan

Tableau 6.2. Structure de production et niveaux de productivité par type de ménage paysan (scénario de base 2)

Indicateurs	Unité	A	B	C
Allocation des terres par culture				
<i>Céréales</i>				
OT actuelles	%	38	46	26
OT alternatives		0	0	0
<i>Coton</i>				
OT actuelles		13	16	32
OT alternatives		36	18	9
<i>Légumineuses</i>				
OT actuelles		13	20	32
OT alternatives		0	0	0
Total (en %)		100	100	100
Total (en ha)		17.8	10.1	5.8
Niveau de durabilité (bilan MO)	kg ha ⁻¹	-1357	-1138	-850
Production totale				
	kg			
céréales		6805	4593	1359
coton		18687	7621	3408
légumineuses		1254	853	799
Production par hectare				
	kg			
céréales		1051	939	924
coton		2230	2061	1592
légumineuses		556	403	452
Production par personne				
	kg			
céréales		271	386	182
coton		745	640	496
légumineuses		50	72	110
Revenu net total	F CFA	1532724	517086	260242
Revenu net par hectare	10 ³ F CFA	87	49	41
Revenu net par personne	10 ³ F CFA	61	43	31

OT = options techniques

Effets de l'adoption des options alternatives sur le niveau de productivité et de durabilité

La comparaison des résultats du scénario de base 1 (situation actuelle) et du scénario de base 2 (situation améliorée avec l'introduction d'options alternatives) a permis de mesurer les effets de l'introduction des options alternatives dans la structure de production des ménages paysans.

Les effets de l'introduction (sans mesures politiques) des options alternatives sur la situation actuelle non durable ont été mesurés en comparant les valeurs des indicateurs obtenus pour le scénario de base 1 et le scénario de base 2. Cette comparaison révèle que :

- La structure de production a fondamentalement changé avec une introduction des options alternatives durables de coton. Ceci a induit l'augmentation de la superficie et de la production de coton chez tous les types de ménage paysan.

- Cette augmentation de la production a eu effet positif sur le revenu net et l'utilité de consommation.
- L'introduction des options alternatives durables de coton a aussi amélioré le niveau de durabilité par rapport à la situation actuelle non durable.
- L'importance de tous ces effets positifs est fonction du taux d'adoption. Les effets sont plus importants chez les ménages paysans de type A ayant un taux d'adoption plus élevé, suivi du type B puis du type C.

Le taux d'adoption des options techniques alternatives est donc le facteur principal qui a amélioré le niveau de productivité des systèmes non-durables au niveau ménage-paysan. Le taux d'adoption de 36%, 18% et 9% des options alternatives de coton (notamment) a eu un effet positif sur le niveau de productivité technique, le niveau de revenu et le niveau de durabilité, par rapport à la situation actuelle (Tableaux 6.2 et 6.3).

Par ailleurs, cette situation pourrait être encore améliorée par des mesures politiques qui peuvent être prises pour inciter d'avantage l'adoption des options alternatives au niveau ménage paysan notamment ceux des céréales et des légumineuses. Cette faible intégration des options alternatives de coton et le manque d'intégration des options alternatives de céréales et de légumineuses exige donc la formulation et l'application de mesures politiques pour stimuler le choix d'un maximum d'options techniques alternatives au niveau ménage-paysan. La différence de taux d'adoption entre type de ménage-paysan est lié à la différence de niveau d'équipement et de disponibilité en ressources. Les ménages-paysans de taille moyenne et petite (B et C) ont des niveaux d'équipement et de disponibilité en ressources insuffisants pour leur permettre de réaliser les investissements nécessaires dans l'adoption des nouvelles technologies.

Tableau 6.3. Effets (en %) de l'introduction des options techniques alternatives durables sans mesures politiques (comparaison SB2 à SB1)

Indicateurs	A	B	C
Revenu net	16	13	7
Utilité de consommation	10	11	5
Durabilité (bilan C)	58	25	5
Superficie totale céréales	0	74	5
coton	181	35	7
légumineuses	-73	-54	16
Superficie options alternatives			
coton	36	18	9
céréales	0	0	0
légumineuses	0	0	0
Production totale coton	0	67	14
céréales	285	81	24
légumineuses	-66	-58	17

6.3 Mesures politiques pour stimuler la pratique des options alternatives durables

Choix des instruments politiques

En matière de durabilité pour inciter les ménages paysans à pratiquer les options techniques alternatives⁵⁶ durables, des mesures politiques d'accompagnement doivent être prises. Dans cette Section les différents instruments politiques permettant de stimuler la pratique d'options techniques intensives durables au niveau ménage paysan, seront répertoriés. Ils seront utilisés dans la prochaine section pour formuler des scénarios de mesures politiques et analyser leurs effets sur les comportements des ménages-paysans.

Des analyses de scénarios politiques ont été ainsi effectuées en utilisant 12 mesures politiques en vue d'analyser les comportements des ménages paysans, quant à leurs réactions à ces instruments politiques. Les deux catégories de mesures politiques qui ont été considérées pour analyser leurs effets sur le comportement des ménages paysans sont d'une part **les instruments de politiques relatifs aux marchés** que sont les prix et les coûts de transaction, et d'autre part **les instruments de politique relatifs aux contraintes** (Colman & Young, 1989). Les mesures politiques qui ont été utilisées pour stimuler le développement agricole durable dans le Cercle de Koutiala à travers l'intégration d'options techniques alternatives sont :

- la politique de prix ;
- la politique de développement des marchés ;
- la politique de crédit ;
- la politique de gestion des ressources naturelles ;
- la politique de développement de l'intensification.

Les effets de ces différentes mesures politiques sur les comportements des ménages paysans ont été analysés en fonction des changements engendrés dans la structure de production et dans les valeurs des objectifs que sont le revenu net et l'utilité de consommation. Les effets des mesures seront aussi pondérés au niveau régional et une comparaison sera faite avec les résultats du scénario perspective d'un développement agricole durable concernant les différents indicateurs de productivité au niveau régional.

Politique de prix

Elle consiste à créer les conditions économiques favorables à l'adoption des technologies nouvelles (intensives et durables). Les prix des intrants et extrants des cultures vivrières aussi bien que des cultures de rente sont sujet ainsi à une réforme politique. L'efficacité et la durabilité de la production agricole peuvent ainsi être stimulées à travers des politiques sélectives de prix relatives aux facteurs de production ou aux produits agricoles. Dans le Cercle de Koutiala et au Mali en général, les prix des céréales et de la viande sont entièrement déterminés par les niveaux des échanges sur le marché. Quant aux prix du coton et des fertilisants, ils sont déterminés par les cours mondiaux du marché international.

⁵⁶ En rappel les options alternatives correspondent aux options intensives durables

Les modifications de prix du marché influencent directement les ratios coûts/bénéfices des options techniques de cultures. Les effets sur le revenu net peuvent être différents selon les types de ménage paysan à cause des différences de niveau d'équipement, de disponibilité en ressources terre, taille de famille et nombre d'actifs). Pour analyser l'influence de la politique des prix sur les comportements des ménages paysans, les simulations⁵⁷ ont été exécutées pour cinq types de mesures politiques concernant l'augmentation du prix individuel de tous les extrants et la subvention du prix des engrais (I) prix céréales +10%, (II) prix coton +10%, (III) prix légumineuses +10%, (IV) prix lait/viande +10%, : (V) prix des fertilisants (N, P, K) -10%.

Politique de développement des marchés

Dans beaucoup de pays en voie de développement on assiste à une concentration de l'investissement en infrastructures et services dans les zones urbaines par rapport aux zones rurales. Le manque d'infrastructures routières entraîne l'isolation physique de zones potentiellement agricoles et indirectement une baisse de productivité de l'agriculture et de la qualité de la vie. Ce qui entraîne la marginalisation de zones potentiellement riches en ressources tant humaines que agro-écologiques.

La planification d'un développement rural fournit l'opportunité d'incorporer les infrastructures de base pour les zones qui en sont démunies, et cette création d'infrastructures stimule en même temps la croissance économique. En effet, certains types d'infrastructures tels que les routes, les marchés, les services et infrastructures socio-sanitaires sont essentiels pour d'une part stimuler la production agricole, et d'autre part faciliter son écoulement vers des zones déficitaires à très forte consommation. L'amélioration des infrastructures routières contribue à faire baisser les coûts de transaction.

Dans la région sahélienne, avec une infrastructure peu développée, et une faible intégration des ménages paysans au marché, les coûts de transaction jouent un rôle très important (Goetz, 1992). Les deux composantes principales des coûts de transaction sont les coûts de transport, et de manutention ainsi que les frais d'information sur les conditions du marché. Dans le contexte du Cercle de Koutiala, les coûts de transport et de manutention constituent l'essentiel des coûts de transaction. Les coûts de transaction ont été considérés comme étant équivalents à 40% du prix moyen d'achat des intrants et du prix moyen de vente des extrants (Tableau 4.7). Cette évaluation est basée sur les estimations de Kruseman & Ruben (1998) réalisées sur la base des prix différentiels au producteur et à la consommation dans les grands centres urbains de consommation (Bamako, Sikasso).

L'amélioration des infrastructures routières contribue ainsi à faire baisser les coûts de transaction. Pour analyser les effets de la politique de développement des marchés sur les comportements des ménages paysans, la simulation a été exécutée pour une mesure politique de diminution des coûts de transaction de -10% (VI).

Politique de crédit

L'hypothèse de base considérée est que le crédit est une nécessité pour l'acquisition de l'équipement aussi bien que des intrants nécessaires à l'intensification. Dans cette analyse, c'est le crédit

⁵⁷ Une simulation correspond à une analyse avec le modèle (ménage paysan) dans une condition économique (niveau de prix des intrants et extrants) bien déterminée.

intrants nécessaire pour l'achat d'engrais et intrants monétaires (semences, pesticides) qui a été considéré. Pour analyser les effets de la politique de crédit sur les comportements des ménages paysans, la simulation a été exécutée pour une mesure politique d'augmentation de la disponibilité du crédit de 10% (VII).

Politique de gestion des ressources naturelles

Pour réduire la dégradation des ressources naturelles, une définition claire des normes d'utilisation des terres communes et des forêts est nécessaire en termes de droit foncier. En effet, il n'existe souvent pas de contraintes sous forme de mesures politiques en vue de freiner la surexploitation et de maintenir le potentiel des ressources en investissant dans leur gestion.

Les mesures politiques qui doivent être prises pour freiner la dégradation des ressources naturelles, notamment les terres communes soumises à une très forte pression du bétail avec un taux de charge élevé, concernent les contraintes techniques et économiques à initier pour inciter les ménages paysans à diminuer leur pression sur les ressources naturelles.

Pour analyser les effets de la politique de gestion des ressources naturelles sur les comportements des ménages paysans, les simulations ont été exécutées pour deux mesures politiques concernant la politique de taxation du bétail (VIII) (bovins 1000 F CFA tête⁻¹, petits ruminants 250 F CFA tête⁻¹), et concernant l'établissement d'une taxe sur l'utilisation des pâturages : 2500 F CFA ha⁻¹ de pâturages utilisés (IX).

Politique de développement de l'intensification

Dans la zone Mali-sud, l'intensification semble concernée principalement le coton qui constitue la culture de rente par excellence. C'est le coton qui bénéficie plus des doses d'engrais et de différentes technologies de production. Les céréales ne bénéficient que de l'arrière-effet de l'apport de fertilisants sur le coton. L'apport de fertilisants sur les céréales est donc une pratique moins pratiquée au niveau paysan. Des mesures politiques doivent donc être prises pour renverser cette tendance et stimuler l'intensification à travers la pratique d'options techniques alternatives durables de céréales au niveau ménage paysan. Pour analyser les effets de la politique de développement de l'intensification sur les comportements des ménages paysans, les simulations ont été exécutées pour trois mesures politiques. La première mesure politique (X) consiste à procéder à une augmentation des prix des céréales de 10% simultanément à une diminution des prix des fertilisants de 10%. La deuxième mesure politique (XI) consiste à créer les conditions nécessaires à une valorisation des terres à travers leur bonification⁵⁸, c'est-à-dire une subvention du coût de fertilisants (N, P, K) de 70%. Car la pauvreté des sols est aussi une contrainte pour l'intensification agricole. La troisième mesure consiste à procéder à une politique de choix technologique (XII) en considérant simultanément des options alternatives (durables) semi-intensives et intensives. Car dans toutes les autres analyses, ce ne sont que des options alternatives (durables) intensives avec des niveaux d'intrants assez élevés qui ont été inclus dans les analyses.

⁵⁸ La bonification des terres correspond à l'amélioration de leur qualité en apportant les quantités de fertilisants nécessaires à l'amélioration du bilan des éléments nutritifs dans le sol.

6.4 Effets des mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans

Les effets des différentes mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans ont été analysées à l'aide du modèle ménage-paysan. Les mécanismes qui expliquent les processus à la base des changements de comportements sont décrits sur la Figure 2.6 (Reardon & Vosti, 1992) et résumés sur la Figure 6.1 ci-dessous :

1. Les mesures politiques constituent des incitations qui influencent le choix des cultures et des technologies au niveau ménage-paysan.
2. Les changements dans la structure de production (choix des cultures et des technologies de production) affectent à son tour les niveaux de revenu et de durabilité.
3. Les réponses individuelles des ménages-paysans (A, B, C) sont analysées en fonction de l'importance des changements engendrés dans les niveaux des différents indicateurs tels que : le revenu net, l'utilité de consommation, le niveau de durabilité (bilan des fertilisants C, N, P, K), taux d'adoption des options alternatives (intensives et durables), niveau et structure de production.
4. Dans l'analyse globale, l'agrégation régionale de la production de certains produits de base tels que les céréales et produits animaux peut entraîner la fluctuation de l'offre sur le marché et influencer à son tour les niveaux de prix⁵⁹ en créant un nouvel équilibre offre/demande. Les tendances générales de l'agrégation pondérée sont abordées dans l'analyse globale au niveau régional (Sous-section 6.5.2).

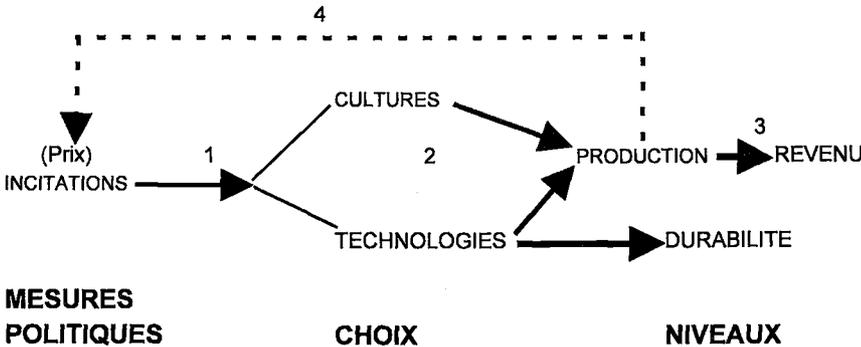


Figure 6.1. Chaînes des effets des mesures politiques au niveau ménage-paysan.

6.4.1 Classification des différentes mesures politiques

Les mesures politiques analysées ont été classifiées en fonction de l'importance de leurs effets sur les principaux indicateurs que sont le revenu net, la durabilité et le taux d'adoption des options al-

⁵⁹ Le mécanisme et les effets de l'agrégation pondérée sont décrits en détails sur la Figure 3.5 (Chapitre 3, Sous-section 3.5.3).

ternatives (Tableau 6.4). C'est sur la base de l'importance de ces effets que quatre types de mesures politiques ont été distinguées (Figure 6.2) :

- **les mesures politiques très incitatrices** : elles ont un effet très positif aussi bien sur le niveau de revenu que sur le niveau de durabilité. Il s'agit ici des mesures politiques d'augmentation du prix du coton (I), de baisse des coûts de transaction (VI), de baisse du prix des fertilisants par la politique de subvention (V), d'une augmentation du prix des céréales accompagnée d'une baisse du prix des fertilisants (X) et de la valorisation/bonification des terres (XI),
- **les mesures politiques incitatrices** : ce sont celles qui ont un effet positif modéré sur le niveau de revenu et le niveau de durabilité. Elles correspondent aux mesures politiques d'augmentation du prix des céréales (I) d'une augmentation de la disponibilité du crédit (VII) ; et de choix technologique (XII),
- **les mesures politiques peu incitatrices (ou ambiguës)** : leur effet global est ambiguë, à cause du fait qu'elles ont un effet positif modérée sur le niveau de revenu mais entraînent en même temps une diminution du niveau de durabilité. Il s'agit des mesures politiques d'augmentation du prix des légumineuses (III) et d'augmentation du prix du lait et de la viande (IV),
- **les mesures politiques non incitatrices** : sont celles qui entraînent en même temps une perte de revenu et une diminution du niveau de durabilité au niveau des *terroirs agricoles*. Elles correspondent aux mesures politiques de taxation du bétail (VIII) et de taxation des pâturages (IX). Cependant les effets escomptés indirects de ces mesures sont importants, à cause du fait qu'elles peuvent induire une diminution des effectifs des troupeaux et une limitation de la surexploitation des *terroirs agro-pastoraux*.

		DURABILITE					
		++		+		0	-
R E V E N U	++	II VI XI					
	+	V X		I VII XII		IV	III
	-				VIII	IX	

Figure 6.2. Classification des différentes mesures politiques selon leurs effets sur les niveaux de revenu et de durabilité au niveau ménage-paysan.

Tableau 6.4. Effets (en %) des différentes mesures politiques sur les comportements des ménage paysans.

Indicateurs	type ménage paysan	Mesures politiques très incitatrices					Incitatrices			Peu incitatrices		Non incitatrices	
		XI	II	VI	V	X	XII	I	VII	III	IV	VIII	IX
Revenu net	A	37	9	11	4	4	2	0	1	2	5	-1	-5
	B	49	13	14	5	7	7	1	1	2	3	-1	-3
	C	50	13	12	5	7	1	2	1	2	1	0	-3
Utilité de consommation	A	25	6	6	3	4	2	2	0	1	4	-1	-2
	B	27	7	6	3	6	4	2	0	1	2	-1	-3
	C	30	8	7	4	5	0	2	0	1	2	-1	-2
Durabilité (Bilan C)	A	48	27	27	28	28	19	2	3	-16	0	-3	3
	B	34	13	11	11	12	59	6	9	-18	-1	0	-1
	C	34	29	14	27	26	33	2	3	-3	0	0	0
Superficie céréales	A	-11	-3	-3	-2	0	35	12	-3	-6	6	-2	23
	B	-27	-15	-15	-3	14	23	17	2	-8	4	0	-8
	C	7	5	6	4	6	-4	2	1	2	0	0	0
Superficie coton	A	16	8	8	7	4	26	0	8	-55	-1	0	1
	B	57	19	19	11	3	35	-2	8	-28	-3	0	3
	C	25	17	16	16	16	27	1	8	-2	0	0	0
Superficie légumineuse	A	-22	-21	-21	-22	-22	-53	-2	-43	243	-10	41	-5
	B	-61	-13	-6	-25	-57	-80	-50	-28	91	-6	0	23
	C	-65	-51	-49	-48	-48	-34	-4	-8	5	0	0	0
Superficie totale options alternatives	A	3	11	11	10	11	68	0	2	-7	1	0	2
	B	-2	5	4	5	7	174	4	4	-13	1	0	-2
	C	7	8	6	6	6	91	1	16	-1	0	0	0
Superficie Alternatives coton	A	-8	11	11	10	6	36	0	11	-76	-1	0	2
	B	-7	5	4	5	7	85	4	4	-47	1	0	-2
	C	7	8	6	6	6	91	1	16	-1	0	0	0
Superficie alternatives céréales	A	11	0	0	0	4*	18	0	0	0	0	0	0
	B	5	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Superficie alternatives légumin.	A	0	0	0	0	0	0	0	10*	72*	3*	0	0
	B	0	0	0	0	0	8	0	0	40*	0	0	0
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Production céréales	A	52	-1	-1	0	19	21	18	0	-15	7	-5	25
	B	-15	-15	-15	0	19	15	19	0	-7	5	0	-9
	C	0	1	1	0	1	-5	1	0	2	0	0	0
Production coton	A	11	4	4	4	1	-35	-1	9	-68	-2	0	3
	B	38	13	13	8	3	5	-1	7	-34	-2	0	4
	C	25	18	17	17	16	22	1	9	-2	0	0	0
Production légumineuses	A	-33	-33	-33	-34	-33	-55	-33	-93	713	-7	149	-29
	B	-54	-6	2	-20	-55	1	-45	-27	214	-5	0	22
	C	-67	-51	-48	-47	-48	-34	-4	-27	4	0	0	0
Production viande	A	-7	0	0	0	0	-2	-1	0	0	1	-2	-7
	B	-20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Production lait	A	-3	0	0	0	0	-1	-1	0	0	1	-1	-3
	B	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Proportion dans la superficie totale.

6.4.2 Effets de la politique de prix sur les comportements des ménages paysans

Prix des céréales (I)

Pour mieux illustrer les effets de la politique de prix, le ratio coût/bénéfice moyen a été évalué par spéculation (céréales, coton, légumineuses) sur la base du rapport coût total de production sur le bénéfice net. L'évaluation du coût total de production a pris en compte les coûts des intrants monétaires (semences, engrais, fongicides.) et de la main-d'œuvre. Les chiffres présentés sur la Figure 6.3, représentent le ratio coût/bénéfice moyen de toutes les options techniques sélectionnées dans ce scénario politique par spéculation. Une augmentation du prix des céréales⁶⁰ (+10%) a un effet très positif de diminution du ratio coût/bénéfice (RCB) des options techniques de céréales et n'a aucun effet sur le RCB des autres cultures. Ceci incite les ménages-paysans à augmenter la superficie et la production en céréales (Tableau 6.5) et à diminuer par contre les superficies des autres cultures (coton, et surtout légumineuses). La comparaison des réactions des ménages paysans (A, B, C) révèle que l'augmentation de superficie et de la production de céréales a été plus forte pour les types A et B, comparativement au type C. L'augmentation de la production de céréales entraîne à son tour une amélioration limitée du revenu net et de l'utilité de consommation. L'augmentation du prix des céréales n'a pas influencé cependant l'adoption des options alternatives durables de céréales. Cette non adoption des options alternatives de céréales et le faible taux d'adoption des options alternatives de coton font que cette mesure politique d'augmentation du prix des céréales n'a eu qu'un effet positif plus ou moins limité sur l'amélioration des conditions de durabilité. Elle a été classifiée *comme mesure politique incitatrice* à cause de ces effets positifs sur les comportements des ménages paysans quant aux changements dans le niveau et la structure de la production de céréales, mais beaucoup moins pour les conditions de durabilité.

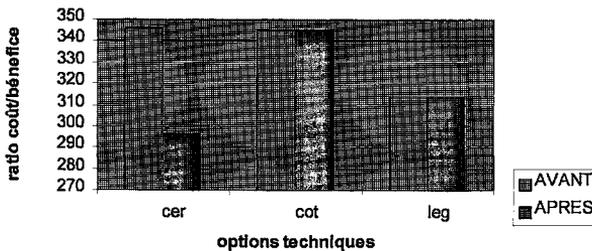


Figure 6.3. Ratios coût/bénéfice (RCB) des options techniques des différentes cultures avant et après augmentation du prix des céréales.

Notes : cer : (céréales) ; cot : (coton), leg (légumineuses)

Source : Options techniques sélectionnées dans les résultats d'analyses du scénario mesure politique II (après) et du scénario de base 2 (avant)

⁶⁰ Prix au producteur pour les céréales aussi bien que pour le coton et les légumineuses.

Prix du coton (II)

Une augmentation du prix du coton (+10%) entraîne à son tour une forte amélioration de la rentabilité (ratio coût/bénéfice) des options techniques de coton. Ceci incite les ménages paysans à accroître la superficie et la production de coton qui entraîne aussi une augmentation du niveau de revenu net. La superficie allouée ainsi que la production diminue pour les autres cultures (céréales et légumineuses).

L'augmentation du prix du coton a induit fortement aussi un taux d'adoption⁶¹ assez élevé des nouvelles technologies alternatives durables de coton de 11, 20 et 40% au niveau des ménages-paysans de type A, B et C respectivement.

Concernant l'adoption des nouvelles technologies, *le type A* a eu donc une réaction plus forte avec un taux d'adoption de l'ordre de 40%, comparativement aux types B et C (Tableau 6.4). Ce taux d'adoption élevé de nouvelles technologies alternatives fait que cette mesure politique a eu aussi un effet positif important sur le niveau de durabilité. Cet effet positif sur la durabilité s'explique par le fait que les nouvelles technologies alternatives durables ont un bilan des fertilisants équilibré, leur intégration dans le système de production des ménages paysans améliore le bilan global des fertilisants donc la durabilité. Il est important de signaler que tous les types de ménages paysans (A, B, C) ont eu une réaction positive à cette mesure politique d'augmentation du prix du coton. L'augmentation du prix du coton a été classifiée comme mesure politique très incitatrice à cause de ses effets positifs importants sur les niveaux de revenus et de durabilité ainsi que sur le taux d'adoption des options alternatives durables de coton (Fig. 6.2)

Prix des légumineuses (III)

L'augmentation du prix des légumineuses⁶² (+10%) a aussi entraîné à son tour une forte amélioration de la rentabilité (ratio coût/bénéfice) des options techniques de légumineuses. Ceci induit fortement une augmentation de la superficie et de la production de légumineuses (notamment de niébé) au niveau ménage paysan. Mais la superficie et la production diminue pour les autres cultures (céréales et notamment coton). L'augmentation de la production de légumineuses induit aussi une augmentation du niveau de revenu net mais beaucoup moins que celle d'une augmentation du prix du coton.

Elle entraîne aussi un taux d'adoption très élevé des nouvelles technologies alternatives durables de légumineuses (notamment du niébé) ; qui est tout de même accompagnée d'une forte baisse du taux d'adoption des technologies alternatives durables de coton. Cette mesure politique a un effet positif limité sur le niveau de revenu et un effet négatif sur la durabilité (Figure 6.2). L'effet positif limité sur le revenu s'explique par la forte diminution du niveau de production de coton et de céréales. L'effet négatif sur la durabilité est causé par le fait que malgré le choix important d'options alternatives durables de légumineuses, il y a aussi des options techniques non-durables de coton et des céréales qui sont retenus dans ce scénario (III) ; ce qui détériore le bilan global des éléments nutritifs. L'ensemble de ces effets est plus accentué chez les ménages paysans de *types A et B*

⁶¹ Le taux d'adoption a été assimilé à la proportion d'augmentation de la superficie cultivée des options alternatives durables au niveau ménage-paysan (voir Tableau 6.1). Il a été estimé en comparaison au scénario de base 2 dans lequel on a offert au choix du modèle simultanément les technologies non durables et les technologies alternatives durables. En comparaison au scénario de base 1, où ce ne sont que les technologies non-durables seulement qui ont été analysées dans le Chapitre 5.

⁶² Les légumineuses concernent ici le niébé grainier et l'arachide.

comparativement au type C. L'augmentation du prix des légumineuses a été classée comme *mesure politique peu incitatrice* ou ambiguë, à cause de son effet positif timide sur le revenu et son effet limité sur le niveau de durabilité.

Ces différents résultats montrent l'importance des effets des changements de prix des produits agricoles sur les comportements des ménages paysans. Ceci dénote que ces derniers sont assez sensibles aux changements des prix.

Prix du lait et de la viande (IV)

L'augmentation du prix du lait et de la viande a induit une légère augmentation de la production animale (lait/viande) au niveau surtout des ménages paysans de type A et B, ayant un cheptel plus important. Cependant cette mesure politique n'a pas eu d'effet direct sur le taux d'adoption des options alternatives et sur le niveau de durabilité. La faible augmentation de la production de lait et de viande provoque une légère augmentation du niveau de revenu. Cette mesure politique a été classée comme peu incitative ou ambiguë (Figure 6.2).

Prix des engrais (V)

La politique de subvention du prix des engrais (baisse de 10%) entraîne une diminution du coût de production des options techniques intensives des différentes cultures et améliore leur niveau de rentabilité. Ce qui incite les ménages paysans à pratiquer l'intensification en augmentant la superficie et la production des options alternatives (intensives et durables). Cette augmentation du niveau de production induit à son tour une hausse des niveaux de revenus selon les mécanismes décrits sur la Figure 6.1. Notons cependant que l'augmentation de la superficie et de la production est beaucoup plus importante pour le coton (Tableau 6.4) à cause du niveau de rentabilité plus élevé (ratio coût/bénéfice assez bas) des options techniques de coton par rapport aux autres cultures. La subvention du prix des engrais a entraîné aussi une augmentation du taux d'adoption des options alternatives de coton, ainsi que du niveau de durabilité. La politique de subvention du prix des engrais est une mesure politique très incitatrice à cause de ces effets positifs sur les niveaux de revenus et de durabilité (Figure 6.2) ainsi que sur le taux d'adoption des options alternatives durables au niveau ménage paysan.

6.4.3 Politique de développement des marchés : baisse des coûts de transaction (VI)

La baisse des coûts de transaction a eu un effet très positif sur les niveaux de revenu net aussi bien que sur l'amélioration du niveau de durabilité chez tous les types de ménages-paysans. Elle a été classée comme mesure politique très favorable, car très incitatrice en ce qui concerne ces effets sur les ménages paysans, notamment les types B et C. Pour le type C, la baisse des coûts de transaction a entraîné en même temps une augmentation de la superficie et de la production de céréales. La diminution des coûts de transaction entraîne surtout une augmentation de la superficie et de la production de coton, et une diminution de la superficie et de la production des autres cultures (céréales et légumineuses). Ces changements dans la structure et le niveau de production des cultures sont plus accentués chez les types B et C. Ce qui signifie que les coûts de transaction constituent une contrainte pour la production de coton et de céréales chez les ménages paysans moins équipés (B et C).

6.4.4 Politique de crédit : augmentation de la disponibilité du crédit intrants (VII)

Pour renforcer la capacité d'investissement des paysans, il faudrait une politique visant à augmenter le volume de crédit et l'efficacité du système de crédit au niveau paysan. Ceci permettra de financer les investissements de l'intensification qui ne sont pas à leur portée.

L'octroi de crédit intrants permettra en effet d'atténuer la faible capacité financière (faible pouvoir d'achat) des petits producteurs à bas niveau de revenus notamment (types B et C) mal équipés. Mais parallèlement des mesures doivent être prises pour accroître l'efficacité des systèmes de crédit dont l'échec est beaucoup lié à des facteurs tels que le taux d'intérêt élevé et la faible capacité de remboursement des bénéficiaires. L'augmentation de la disponibilité du crédit intrants est une mesure politique incitatrice qui a eu un effet positif sur les niveaux de revenu et de durabilité (Tableau 6.4) ainsi que sur l'adoption des options alternatives durables de coton. Cet effet est beaucoup plus accentué au niveau du type de ménage-paysan C ; ceci signifie que l'accès au crédit est un facteur important pour stimuler la pratique des nouvelles technologies durables au niveau des ménages-paysans à faibles revenus et mal équipés.

6.4.5 Politique de gestion des ressources naturelles

Politique de taxation du bétail (VIII) et de l'utilisation des pâturages (IX)

La politique de taxation du bétail et de l'utilisation des terres communes sont des mesures politiques assez contraignantes qui ont pour but d'atténuer la pression sur les ressources naturelles. Ces deux mesures politiques ont été classées comme non incitatrices car elles entraînent une baisse du revenu net. (Tableau 6.4). Elles n'ont pratiquement pas eu d'effet sur l'amélioration du niveau de durabilité. Ces mesures politiques de taxation ont cependant un impact indirect très positif sur la superficie et la production de légumineuses. Car la taxation des pâturages communs incite les ménages paysans (A et B surtout) à produire plus de fourrage en augmentant leur superficie de sole fourragère de légumineuses, et à pratiquer d'avantage la supplémentation du bétail. Ce qui permettra de réduire le taux de charge et la pression du bétail sur les parcours naturels.

6.4.6 Politique de développement de l'intensification

Subvention des engrais et amélioration du prix des céréales (X)

Une mesure politique d'augmentation du prix des céréales accompagnée d'une subvention du prix des engrais est très favorable au développement de l'intensification, notamment des options techniques de céréales. Elle a pour effet d'augmenter la production céréalière ainsi que celle de coton. La production de légumineuses chute fortement à l'inverse. La baisse du prix des fertilisants entraîne une amélioration de la rentabilité des options techniques de coton et surtout ceux des céréales. Ce qui les rend plus accessibles à la pratique des ménages-paysans. Cette mesure politique entraîne l'augmentation de la superficie des options alternatives de céréales notamment chez les ménages-paysans de type B et C. Une telle mesure politique a eu un effet très positif sur le niveau de durabilité (Tableau 6.4), car elle induit la pratique d'options alternatives durables au niveau ménage-

paysan. Cette pratique améliore la durabilité du système par l'amélioration du bilan des éléments nutritifs dans le sol, de 12 à 28% par rapport à la situation actuelle.

Politique de bonification et de valorisation des terres (XI)

La valorisation des terres est un préalable très important à la pratique du système de production intensif durable. Car la majorité des terres ont un bilan des éléments nutritifs en dessous de la situation d'équilibre. Il faut donc en d'autres termes récupérer les terres dégradées ou en voie de l'être, comme déjà explicité dans le Chapitre 2. Cette valorisation des terres passe par leur bonification (Témé *et al.*, 1995 ; Breman & Sissoko, 1998), qui doit se réaliser à travers de quantités importantes et une régénération du couvert végétal.

Le coût d'une telle opération dépasse la capacité financière des ménages-paysans, mais l'intérêt d'une recapitalisation des ressources naturelles dépasse l'intérêt du monde paysan seulement. Car une productivité et une rentabilité améliorées ont certainement un impact favorable sur la sécurité alimentaire et l'économie nationale qui intéressent la société entière ainsi que la communauté internationale. Une prise en charge commune (Paysans, Etat, Bailleurs de fonds) des frais d'investissement de la valorisation des terres mérite d'être envisagée. Le niveau de valorisation des terres considéré est une forte subvention du coût des engrais de 70%. Cette proportion indique que tous les acteurs du développement rural doivent participer à la bonification des terres. Les paysans prendront en charge les 30%, et la subvention de 70% sera assurée par un effort conjugué des Gouvernements et des organismes internationaux de développement. Les résultats d'analyse des effets des mesures politiques (Tableau 6.4) ont permis de classer la politique de bonification et de valorisation des terres comme une mesure politique très incitatrice à cause de son effet positif sur les niveaux de revenu et de durabilité, chez tous les types de ménage-paysan. Elle a aussi amélioré très nettement le *taux d'adoption des options alternatives de coton et surtout de céréales*. En effet la valorisation des terres qui correspond ici à une forte subvention du coût des engrais (jusqu'à 70%), entraîne une baisse du ratio coût/bénéfice des options techniques alternatives de céréales et de coton et améliore ainsi leur niveau de rentabilité et leur taux d'adoption.

Politique de choix technologique (XII)

En matière d'intensification, plusieurs niveaux d'utilisation d'intrants peuvent être définis quant au choix des types d'options techniques alternatives. Dans les analyses précédentes, les options alternatives durables sont intensives et très intensives. La politique de choix technologique consiste à élargir la gamme d'options techniques à un niveau d'intensité plus bas (semi-intensif). Des options alternatives semi-intensives durables des différentes cultures ont été ainsi incluses dans les analyses en plus des niveaux d'intensité élevés. La politique de choix technologique a été classée comme mesure politique incitatrice avec des effets modérés sur l'augmentation du niveau de revenu et de durabilité. Elle a permis aussi d'améliorer le taux d'adoption des options alternatives semi-intensives de céréales au niveau notamment des ménages-paysans de type A et B. Une telle mesure politique permet d'améliorer l'accessibilité de technologies durables moins intensives.

Tableau 6.5. Structure de production par type de ménage paysan et par type de mesure politique.

SUPERFICIE	options techn.	SB1		SB2 Mesures politiques très incitatrices					Incitatrices			Peu incitatrices		Non incitatrices	
		XI	II	VI	V	X	XII	I	VII	III	IV	VIII	IX		
MENAGE A															
céréales (%)	actuelles	36	37	29	37	37	37	36	34	39	37	34	40	35	43
	alternatives	0	0	4	0	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0
coton (%)	actuelles	17	13	23	13	13	13	13	11	11	13	13	12	12	12
	alternatives	0	35	33	40	40	40	39	41	36	40	9	36	35	34
légumineuses (%)	actuelles	47	15	10	10	10	10	10	5	13	10	21	12	18	11
	alternatives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0
sup. Totale (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
sup. Alternat. (%)		0	35	37	40	40	40	40	51	36	40	33	36	35	34
MENAGE B															
céréales (%)	actuelles	28	45	34	40	39	45	54	41	48	47	40	48	46	41
	alternatives	0	0	1	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
coton (%)	actuelles	27	16	39	22	22	20	17	12	16	19	14	15	16	17
	alternatives	0	19	18	20	19	20	20	32	19	19	9	18	18	18
légumineuses (%)	actuelles	45	20	8	18	19	15	9	4	16	15	30	19	20	24
	alternatives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
sup. Totale (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
sup. Alternat. (%)		0	19	19	20	19	20	20	47	19	19	15	18	18	18
MENAGE C															
céréales (%)	actuelles	27	26	31	30	30	30	30	25	26	26	26	26	26	26
	alternatives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
coton (%)	actuelles	42	32	46	42	42	41	41	35	32	34	31	32	32	32
	alternatives	0	9	11	11	11	11	11	18	10	11	9	9	9	9
Légumineuses (%)	actuelles	30	32	12	17	17	18	18	21	32	29	34	32	32	32
	alternatives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sup. Totale (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
sup. Alternat. (%)		0	9	11	11	11	11	11	18	10	11	9	9	9	9

6.5 Analyse globale au niveau régional

6.5.1 Effets des mesures politiques sur les objectifs de développement au niveau régional et comparaison avec le scénario perspective (SP1)

Niveaux des objectifs de développement au niveau régional par type de scénario

Les objectifs de développement au niveau régional (Cercle de Koutiala) ont été appréciés à travers les valeurs des indicateurs tels que : la production moyenne par habitant et par hectare ainsi que le revenu moyen par habitant et par hectare (Tableau 6.6). L'analyse globale a pour objectif principal de mieux cerner l'impact global des différents scénarios de mesures politiques sur les indicateurs du développement au niveau régional. Les valeurs moyennes de ces indicateurs (Tableau 6.6) ont été estimées par type de scénario sur la base du nombre total de ménage-paysan et des valeurs partielles individuelles obtenues par type de ménage-paysan.

Les mesures politiques très incitatrices et incitatrices ont augmenté très sensiblement le niveau des indicateurs de développement, avec un taux d'adoption appréciable des options alternatives (intensives et durables). Quant aux mesures politiques peu incitatrices et non incitatrices, le faible taux d'adoption des options alternatives explique le niveau bas des indicateurs, liée au faible niveau de productivité (Tableau 6.6).

Tableau 6.6. Niveaux des objectifs de développement au niveau régional par type de scénario.

	Unités	SPI	SB1	SB2	Mesures politiques			
					TI	IN	PI	NI
Production par hectare	kg							
Céréales		5779	991	988	1095	969	988	986
Coton		2042	1560	2073	1993	1839	1907	2087
Légumineuses		1520	447	480	456	717	760	424
Production par habitant	kg							
Céréales		430	239	304	314	337	333	310
Coton		228	287	668	735	656	481	679
Légumineuses		41	150	67	44	45	173	69
Revenu net par habitant	10 ³ F CFA	74	47	54	61	54	57	53
Revenu net par hectare	10 ³ F CFA	97	58	65	78	65	68	62
Durabilité : bilan C	kg ha ⁻¹	0	-16311	-8871	-6640	-7857	-9577	-8899

Notes : SPI : scénario perspective I, SB 1= scénario de base 1 (situation actuelle non durable) ; SB2 = scénario de base 2 (intégration d'options alternatives sans mesures politiques) ; Scénarios de mesures politiques : TI (très incitatrices), IN (incitatrices), PI (peu incitatrices), NI (non incitatrices) ; Durabilité : kg ha⁻¹ total cultivé.

Différences avec le scénario perspective (SPI) au niveau régional : « de la situation actuelle à la situation désirée »

Les résultats, les indicateurs obtenus dans les analyses individuelles par type de ménage paysan au niveau des scénarios de base (SB1 et SB2) et des scénarios de mesures politiques, ont été ensuite pondérées au niveau régional à l'aide du nombre total de ménages-paysans dans chaque catégorie. Ces valeurs sont ensuite comparés à celles du scénario perspective (SP1). Cette comparaison a permis de dégager quelques constats :

- **Les mesures politiques peu et non incitatrices** n'ont pas diminué sensiblement cette différence de durabilité et de revenu entre présent et futur à cause du taux d'adoption assez faible des options alternatives durables. Elles n'ont amélioré ni le niveau de revenu par habitant, ni le niveau de durabilité.
- **Les mesures politiques très incitatrices** ont permis d'améliorer le revenu net par habitant et le revenu net par hectare de respectivement 13% et 20%. Les différences de revenu et durabilité (Figure 6.3) sont moins accentuées pour les mesures très incitatrices qui ont permis de réduire l'écart entre situation actuelle non durable (SB1) et scénario perspective (SPI : situation future désirée). En prenant les mesures politiques très incitatrices, les décideurs politiques au niveau régional et national, arriveront encore à améliorer le bien-être des populations avec une augmentation moyenne du revenu régional par habitant de 13%. Parmi ces mesures politiques très incitatrices : la politique de valorisation des terres est celle qui améliore le plus les valeurs des

objectifs de développement au niveau régional. En effet le revenu régional par habitant augmente de 31% et le niveau de durabilité s'améliore considérablement avec une amélioration du bilan des éléments nutritifs et de la qualité des sols, et les différences avec le scénario perspective (SPI) en terme de revenu par habitant et de durabilité sont très minimes (Figures 6.5 et 6.6) sont très minimes.

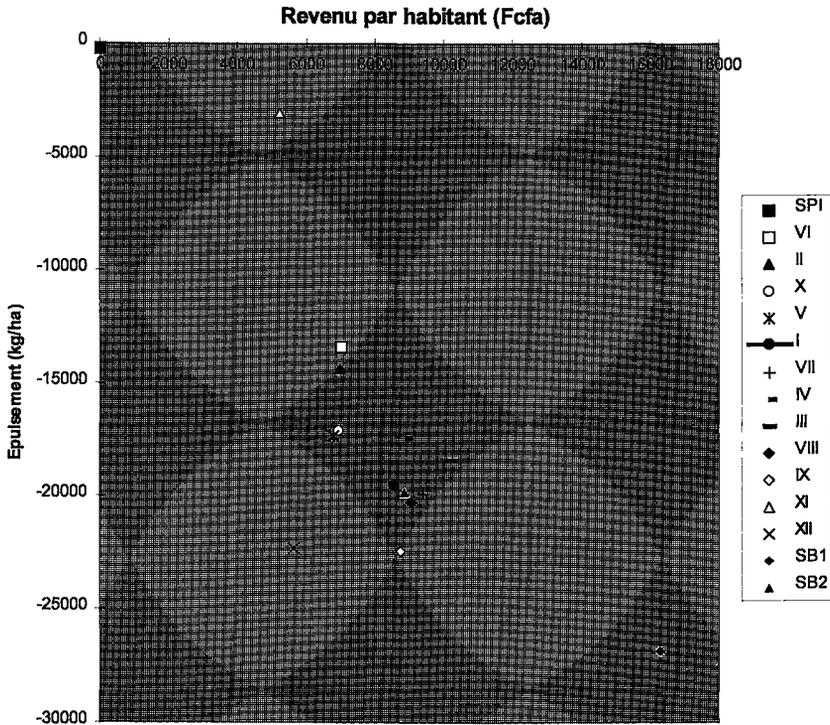


Figure 6.4. Différences de niveau de revenu régional par habitant et de niveau de durabilité par rapport à la situation du Scénario perspective (SPI).

Notes :

SPI : scénario perspective ; VI : diminution coût de transaction ; II : augmentation prix coton ; X : augmentation prix céréales/baisse prix des fertilisants ; V : baisse du prix des fertilisants ; I : augmentation prix des céréales ; VII : augmentation de la disponibilité du crédit ; IV : augmentation prix des légumineuses ; III : augmentation prix lait/viande ; VIII : politique de taxation du bétail ; IX : politique de taxation des pâturages ; XI : politique de valorisation/bonification des terres ; XII : politique de choix technologique ; SB1 : scénario de base 1 (systèmes non-durables) ; SB2 : scénario de base 2(adoption d'options alternatives sans mesures politiques).

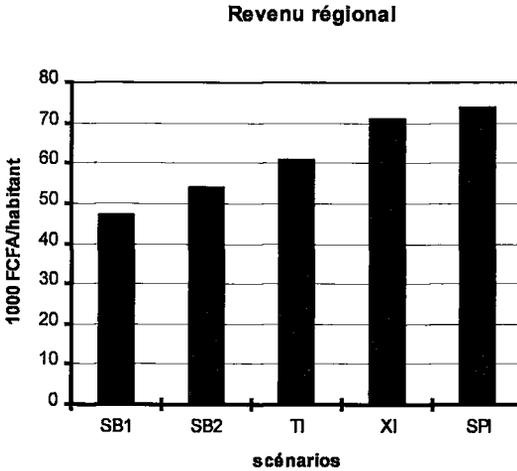


Figure 6.5. Niveau de revenu par habitant par type de scénario.

6.5.2 Effet de l'agrégation de la production totale de céréales sur l'équilibre du marché au niveau régional

Dans l'analyse globale au niveau régional, le mécanisme de l'agrégation régionale de la production et son influence sur l'équilibre du marché ont été déjà abordés dans le Chapitre 3 (Sous-section 3.5.3, Figure 3.5). En effet l'hypothèse considérée est qu'une agrégation des productions partielles par type de ménage-paysan créera une importante offre globale au niveau régional qui pourrait induire un nouvel équilibre de l'offre et de la demande et un nouveau prix d'équilibre pour les produits de base (céréales, produits animaux notamment) dont les prix sont sous l'influence du marché libre (Figure 3.5).

Quelques considérations préliminaires

Les analyses seront effectuées pour les **céréales** seulement comme illustration compte tenu de leur importance dans la politique de sécurité alimentaire et dans la structure de consommation des ménages-paysans. La demande globale a été évaluée sur la base de la relation entre demande et prix (Tsakok, 1990). Le coefficient d'élasticité de la demande des céréales par rapport au prix est assez bas, de l'ordre de -0.5 (Scandizzo & Bruce, 1980). C'est sur la base de cette relation que la courbe de demande (Figures 6.7, 6.8) a été établie :

$$Q = C.P^\varepsilon \quad (6.1)$$

où :

Q = Demande d'un produit de base donnée

C = Constante

P = Prix

ε = coefficient d'élasticité de la demande par rapport au prix

Les indices d'ajustement tarifaire ont été estimés pour stipuler le degré de variation du prix de base des céréales due à la fluctuation de l'offre globale en céréales issue de l'agrégation régionale de la production. L'agrégation régionale de la production dans le *cas du scénario SB2* entraîne une variation positive de l'offre en céréales par rapport au scénario SB1 de l'ordre de 167%⁶³, suite à l'introduction d'options techniques alternatives. Cette augmentation de l'offre en céréales induit un nouveau prix d'équilibre plus bas avec un indice d'ajustement tarifaire de 72.6 (Tableau 6.7) qui signifie que le nouveau prix d'équilibre ne représente que 72.6% du prix de base suite à une augmentation de l'offre en céréales.

Tableau 6.7. Indices d'ajustement tarifaire du prix de base des céréales pour le scénario de base SB2 (introduction d'options alternatives).

Indices d'ajustement tarifaire	
scénario de base SB1	100.00
scénario de base SB2	72.6

Effets de l'agrégation régionale de la production en céréales pour trois mesures politiques macro-économiques

Les effets d'une agrégation pondérée de l'offre ont été analysés pour les trois meilleures mesures politiques qui se sont avérées très incitatrices (Figures et 6.2 et 6.5) avec des effets plus importants sur les niveaux de durabilité et de revenu (par habitant et par hectare) au niveau régional. Il s'agit des mesures politiques d'augmentation du prix du coton (II), de baisse des coûts de transaction (VI), et de la politique de valorisation des terres à travers une forte subvention (70%) des prix des engrais (XI).

Ces différentes politiques macro-économiques ont eu des effets différents sur d'une part les niveaux de production partiels de céréales par type de ménage-paysan et d'autre part sur l'offre globale en céréales issue de l'agrégation régionale de la production (Tableau 6.8).

Tableau 6.8⁶⁴. Effets des trois mesures politiques sur la production céréalière par type de ménage-paysan et sur l'offre globale en céréales au niveau régional (en %).

	II	VI	XI
A	-1%	-1%	52%
B	-15%	-15%	-15%
C	1%	1%	0%
production totale	-6%	-6%	18%

⁶³ Cette estimation est réalisée sur la base des effets partiels par type de ménage-paysan indiqués au Tableau 6.3.

⁶⁴ Les valeurs présentées sur ce Tableau sont tirées du Tableau 6.4 qui présentent les résultats des simulations avec le modèle ménage-paysan pour mesurer les effets (en %) des politiques macro-économiques sur les comportements des ménages-paysans.

Tableau 6.9. Indices d'ajustement tarifaire du prix de base des céréales pour trois mesures politiques.

	Indices d'ajustement tarifaire
scénario de base SB2	100.0
Mesures politiques	
II (augmentation prix coton)	112.3
VI (baisse coûts de transaction)	211.3
XI (valorisation des terres)	60.9

Les résultats indiquent sur les Figures 6.7, 6.8 et 6.9 un premier point d'équilibre obtenu à l'interception de la courbe de demande et de l'offre globale de référence correspondant à la production agrégée du scénario de base SB2. Il y a ensuite un *déplacement de ce point d'équilibre* pour chaque type de mesure politique en fonction du niveau de fluctuation de l'offre globale en céréales selon l'effet de chaque mesure politique :

- **La mesure politique d'augmentation du prix du coton (II)** a eu un effet négatif sur les productions partielles par type de ménage-paysan et par conséquent sur la production totale agrégée (Tableau 6.8). Cette diminution de l'offre globale de céréales (de l'ordre de 6%) a créé un nouveau prix d'équilibre plus élevé (*Figure 6.6*) que dans le cas du scénario de base technologique (SB2). L'indice d'ajustement tarifaire est de 112.3, indique que le nouveau prix d'équilibre des céréales représente 112.3% du prix de base.
- **La mesure politique de baisse des coûts de transaction (VI)** a eu un effet similaire de baisse de l'offre en céréales. Ce qui indique que la politique de baisse des coûts de transaction a eu un impact plus important sur la production d'autres cultures (coton notamment) comparativement aux céréales. Cette diminution de l'offre globale de céréales a créé un nouveau prix d'équilibre plus élevé (*Figure 6.7*) que dans le cas du scénario de base technologique (SB2). L'indice d'ajustement tarifaire qui est de 211.3, indique que le nouveau prix d'équilibre des céréales représente 211.3% du prix de base.
- **la politique de valorisation des terres** a induit quant à elle, une offre en céréales plus importante au niveau régional par rapport aux autres mesures politiques. Car elle engendre un taux d'adoption plus importante des options alternatives (intensives et durables) de céréales au niveau notamment des ménages-paysans de type A et B (Tableau 6.4). Cette augmentation de la production régionale en céréales entraîne un déplacement beaucoup plus accentué de la courbe d'offre avec un prix d'équilibre beaucoup plus bas par rapport au scénario de base technologique (SB2) et aux autres scénarios de mesures politiques. L'indice d'ajustement tarifaire qui est de 60.9% indique le nouveau prix d'équilibre des céréales ne représente que 60.9% du prix de base.

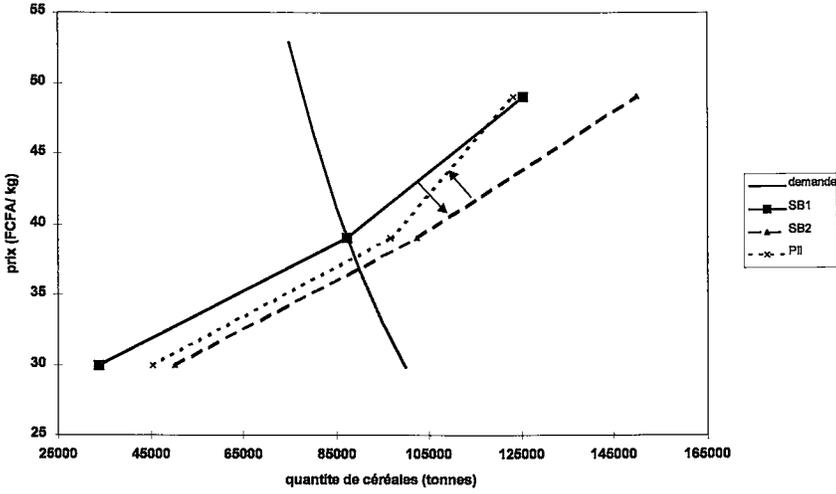


Figure 6.6. Influence de l'agrégation de la production de céréales sur l'équilibre du marché au niveau régional : cas d'une politique d'augmentation du prix du coton (II).

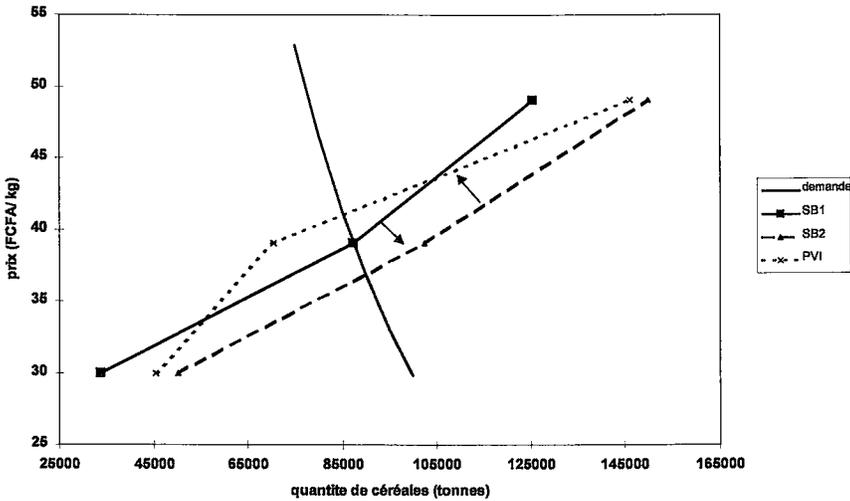


Figure 6.7. Influence de l'agrégation de la production de céréales sur l'équilibre du marché au niveau régional : cas d'une politique de baisse des coûts de transaction (VI).

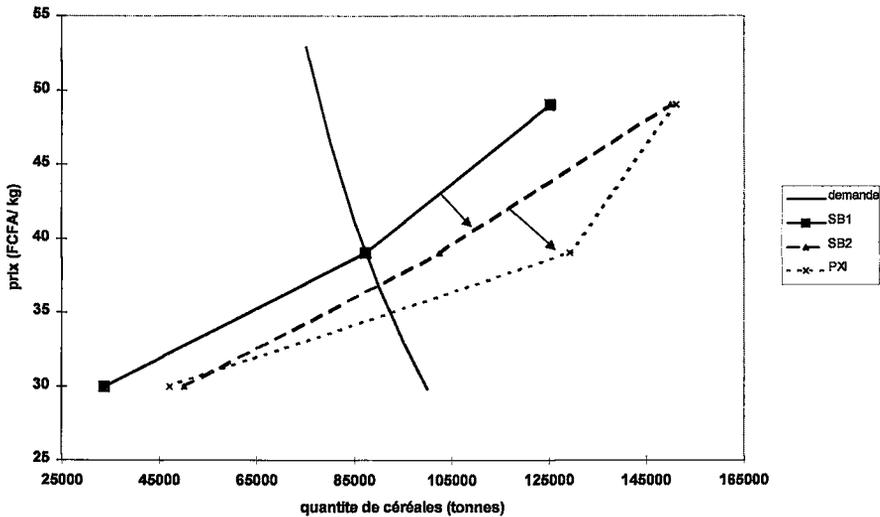


Figure 6.8. Influence de l'agrégation de la production de céréales sur l'équilibre du marché au niveau régional : cas d'une politique de valorisation des terres (XI).

6.6 Conclusions

Les résultats des analyses partielles effectuées dans ce chapitre montrent que les ménages-paysans dans le Cercle de Koutiala, ont réagi favorablement aux différentes mesures politiques tendant à favoriser un développement agricole durable. Dans l'analyse globale au niveau régional, certaines mesures politiques se sont avérées beaucoup plus incitatrices avec des effets plus importants sur les objectifs de développement au niveau régional. Les mesures politiques très incitatrices ont pour effet d'augmenter le taux d'adoption des options alternatives ainsi que le niveau de durabilité et le niveau de revenu régional par habitant. Il est important de souligner que les effets des mesures politiques diffèrent selon les types de ménages-paysans. Le taux d'adoption maximum obtenu en pour les options alternatives durables est de 40% au niveau du ménage-paysan de type A, en comparaison avec 20% et 11% respectivement pour les types B et C. Le taux d'adoption élevé chez le type A, montre son degré de forte receptibilité à l'adoption des technologies nouvelles comparativement aux autres types (B, C). Ceci semble lié au niveau d'équipement élevé et à une disponibilité en ressources (terres, main-d'œuvre) suffisante pour permettre une adaptation plus rapide aux nouvelles innovations technologiques durables.

Cependant malgré les conditions favorables créées par les mesures politiques très incitatrices et incitatrices, il est important de faire remarquer que comparativement au scénario perspective (SP1) avec 100% d'options alternatives, les ménages-paysans ont eu tendance à combiner la pratique d'options non-durables avec celle d'options alternatives suivant un taux d'adoption de maximum de 40%. Le taux d'adoption des options alternatives dépend fortement de leur niveau de rentabilité, c'est-à-dire, de l'importance du ratio coût/bénéfice (RCB). Toute mesure politique tendant à mini-

miser le RCB des options techniques alternatives favorisera leur adoption au niveau ménage-paysan. Les résultats obtenus ont montré que les ménages-paysans sont assez sensibles aux mesures politiques engagées pour stimuler l'adoption des options alternatives (intensives et durables).

En Afrique subsaharienne, plusieurs autres études ont porté sur l'analyse des comportements des ménages, en réaction aux différentes politiques macro-économiques, en milieu rural aussi bien qu'urbain. Les résultats de ces différentes études ont démontré le degré de sensibilité des ménages aux mesures politiques dans une diversité de situations selon les pays et les types de politiques macro-économiques appliquées :

- Ainsi Debrah *et al.* (1990) dans leur étude sur le marché du lait aux environs de la ville de Bamako (*au Mali*), ont trouvé que la demande des produits laitiers était très élastique par rapport au prix. Une réduction du prix des produits laitiers de 10% (toutes catégories confondues) entraînait une augmentation de 5% à 16% de leur consommation.
- Bond (1983) dans son analyse sur les réponses du secteur agricole au prix dans quelques pays africains, a donné une série récapitulative de valeurs des effets des politiques de prix sur les réactions des ménages-paysans. Pour la production de coton, au *Nigeria*, une augmentation du prix du coton de 10% entraîne une augmentation de la production de coton de 2 à 4% (Oni, 1969) et 7% (Diejomaoh, 1973). Dans cette étude l'augmentation de la production de coton (mesure politique II, Tableau 6.4) entraîne une augmentation de la production de coton de 4, 13 et 18% pour les ménages-paysans de type A, B et C respectivement. Selon une autre étude au *Nigeria* (Singh & Janakiram, 1986) une réduction du prix des mil/sorgho de 10%, entraîne une augmentation de la consommation de 0.7% pour le mil et de 1.9% pour le sorgho. *Au Soudan* (Medani, 1970) *et en Ouganda* (Diejomaoh, 1973), une augmentation de 10% du prix du coton entraîne une augmentation de 3.9% et 2.5% de la production de coton, respectivement. La conclusion principale que l'on peut tirer à partir de ces différentes études est que la demande pour un produit agricole donné croît avec une réduction de son prix et une augmentation de prix, stimule par contre son niveau de production. La teneur des réponses traduit la manière dont un ménage individuel pourrait réagir à un changement spécifique de la valeur d'une simple variable.

Les résultats d'analyse au niveau régional indiquent que les effets stimulants de certaines mesures macro-économiques sur la production à court terme, peuvent avoir des incidences sur la modification de l'équilibre entre l'offre et la demande au niveau du marché régional des produits de base. Une telle modification peut engendrer des mouvements de prix qui peuvent avoir des effets pervers sur les ménages-paysans. Ainsi dans le cas où une politique macro-économique entraînerait une augmentation importante de l'offre, l'indice d'ajustement tarifaire des prix baisse et ceci aura un feed-back encore sur les comportements des ménages-paysans qui auront tendance à minimiser la production du produit de base concerné, aboutissant ainsi à une réaction cyclique.

L'impact de l'offre globale des produits de base sur l'équilibre des marchés au niveau régional, crée donc le plus souvent deux situations extrêmes avec le problème de savoir : comment d'une part gérer les effets positifs de l'intensification (production importante) dans le contexte d'une libéralisation à outrance du marché des produits de base stratégique, et comment gérer une baisse de la disponibilité alimentaire avec pour conséquence des niveaux de prix élevés pour les consommateurs urbains et les ménages-paysans non-autosuffisants.

- Dans le cas où une politique macro-économique entraînerait une baisse importante de l'offre⁶⁵ d'un produit de base sur le marché (Céréales, produits animaux), un minimum d'intervention de l'Etat serait nécessaire en faveur des consommateurs pour atténuer la tendance d'augmentation vertigineuse des prix (cas de la période de soudure de juillet à septembre). Cette intervention peut concerner des mesures d'importations jusqu'à la limitation d'un prix plancher pour le produit de base stratégique concerné.
- Dans le cas inverse où une politique macro-économique qui a pour effet de stimuler l'offre globale en produits de base, elle doit être accompagnée d'un minimum de contrôle des prix pour éviter le feed-back négatif d'une baisse des prix sur les comportements des ménages-paysans qui aboutiraient à une réaction cyclique.

Les résultats d'analyse obtenus dans ce chapitre sur les effets des mesures politiques sur les comportements des ménages-paysans, révèlent l'intérêt et le pouvoir d'analyse du modèle ménage-paysan, dans son application pour des besoins de formulation de politiques macro-économiques. La capacité analytique du modèle de base ménage-paysan (Barnum & Squire, 1979), réside dans la possibilité d'analyser l'impact des décisions conjointes de production et de consommation de l'intérieur du ménage jusqu'à un plus large système économique au niveau régional.

⁶⁵ A noter qu'une baisse de la production peut être aussi induite par d'autres facteurs tels que la fluctuation des conditions climatiques

7 Discussions/conclusions

L'économie des pays de l'Afrique subsaharienne est fortement caractérisée par l'importance du secteur agricole qui constitue par conséquent la principale base du développement économique de ces pays. On constate, cependant, une certaine stagnation du développement agricole et même du développement économique général en Afrique subsaharienne, en comparaison à d'autres régions du monde. Cette stagnation du développement est liée aux multiples contraintes qui freinent l'augmentation de la productivité et de la production agricole. L'analyse de la situation de l'agriculture dans les pays de l'Afrique subsaharienne (Chapitre 1) a révélé que parmi ces multiples contraintes de développement agricole, la dégradation des ressources naturelles de base est la plus préoccupante. La mise en place de systèmes de production durables capable d'assurer la survie et le bien-être des générations présentes et futures, devient donc une nécessité afin de limiter l'épuisement et la dégradation des terres.

Dans ce sujet de recherche, la problématique du développement agricole durable a été abordée à travers l'analyse de la situation du Cercle de Koutiala dans le Sud du Mali, où il existe une très forte pression sur les terres. La méthodologie de recherche utilisée a été basée sur l'approche systémique avec comme instrument d'analyse la modélisation technico-économique tant au niveau régional qu'au niveau ménage-paysan. Dans ces discussions/conclusions les points qui seront abordés concernent :

- Certaines limites de l'approche méthodologique utilisée dans cette recherche seront soulignées
- La productivité des systèmes de production non durables
- Les possibilités existantes pour les pratiques paysannes en matière de durabilité
- Les conditions politiques et institutionnelles de l'instauration et de la promotion d'une agriculture durable

7.1 L'approche systémique et le choix des échelles d'analyse

Dans le choix des échelles d'analyse, le niveau terroir villageois n'a pas été considéré, cependant le rôle que la communauté villageoise peut jouer dans la gestion des ressources naturelles est indéniable (Benoit-Cattin *et al.*, 1994). La raison d'un tel choix est d'une part la simplification du processus d'agrégation du niveau ménage-paysan (micro) au niveau régional (macro) et d'autre part l'utilisation du modèle ménage-paysan. La non-considération du niveau terroir villageois dans une telle démarche réside dans la difficulté de faire une typologie des différents terroirs villageois et de la problématique de leur représentativité au niveau régional.

L'une des raisons fondamentales du choix des niveaux régional et ménage-paysan est aussi l'analyse des interactions entre choix des décideurs et choix des ménages-paysans en termes d'objectifs de développement. Dans le scénario perspective (SP1) du modèle régional, la maximisation du revenu régional, la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes de production à long terme sont les principaux objectifs visés. Tandis qu'au niveau ménage-paysan, les préoccupations sont centrées sur les objectifs immédiats, à savoir la maximisation de la fonction d'utilité de consommation et du revenu net sur la base de systèmes de production non-durables actuels basés sur l'épuisement des terres. Les mesures politiques pouvant permettre de stimuler la pratique d'options intensives

durables au niveau ménage-paysan, doivent être recherchés par les décideurs afin que l'objectif de durabilité soit atteint au niveau régional.

7.2 Rôle de la modélisation technico-économique

Les intérêts et les limites des deux types de modèles utilisés ont été signalés dans le Chapitre 3. Il est à souligner cependant que la modélisation technico-économique peut jouer un grand rôle dans l'orientation de la recherche sur les systèmes de production et la gestion des ressources naturelles :

- **Outil de grande capacité d'analyse** : la modélisation technico-économique a été utilisée comme instrument d'analyse au niveau régional aussi bien qu'au niveau ménage-paysan dans le cadre de l'approche systémique. Plusieurs études ont été réalisées à l'aide de la modélisation technico-économique tant au niveau régional, terroir villageois que ménage-paysan (Benoit-Cattin *et al.*, 1994 ; Kébé, 1993 ; Bade *et al.*, 1997). Elle constitue en effet un outil de grande capacité d'analyse, permettant l'intégration et l'analyse des données agro-écologiques et socio-économiques dans le cadre de scénarios de développement pour orienter les prises de décision.
- **Outil d'aide aux prises de décision** : *Il faut souligner cependant que la technique de modélisation n'est qu'un outil d'aide à la prise de décision pour le producteur aussi bien que pour le décideur de haut niveau.* Les résultats obtenus ne sont que des éléments de réflexion et d'orientation d'harmonisation des prises de décision à différentes échelles (ménage-paysan, régional, national).
- **Outil d'analyse des effets des mesures politiques** : La modélisation permet aussi aux décideurs de prédire les effets de telle ou telle mesure politique sur les ménages paysans qui constituent les principaux groupes cibles du monde rural. Les niveaux des objectifs quantifiés (production par hectare et par habitant et revenu par hectare et par habitant dans une région donnée) sont indiqués pour chaque type de mesure politique. Les valeurs de ces indicateurs importants permettent de juger l'efficacité des mesures politiques et d'analyser au préalable leurs effets prévisionnels sur les ménages paysans,
- **Outil d'analyse des possibilités de développement** : La modélisation est aussi un instrument d'analyse des potentialités régionales et nationales. Par exemple, dans la méthodologie adoptée le Cercle de Koutiala a été considérée avec ses potentialités en ressources (terres, main-d'œuvre, bétail), sans inclure les types de relations de transfert et de complémentarité pouvant exister avec les autres Cercles de la région de Sikasso en matière de possibilités de production agricole ou de transfert de main-d'œuvre. L'avantage d'un tel choix méthodologique est qu'il permet de bien étudier les potentialités d'une région dans la perspective d'un développement durable. Une telle étude généralisée à plusieurs régions peut permettre de bien apprécier leurs potentialités respectives, afin d'orienter la planification agricole au niveau national. Telle ou telle région pourra ainsi être ciblée pour développer telle ou telle production en fonction des potentialités existantes dans chacune des régions du pays. Cet instrument peut bien être utilisé dans le cadre de la *décentralisation* pour analyser les possibilités de développement des différentes communes en fonction de leurs potentialités en ressources.

7.3 Variabilité des conditions économiques et climatiques

La variabilité des conditions de prix

La variabilité intra- et inter-annuelle des conditions de prix constitue l'un des éléments importants qui influence la productivité économique des options techniques et les comportements des ménages-paysans. Les analyses des scénarios de base du modèle régional et du modèle ménage-paysan ont été faites sur la base des prix moyens au producteur des intrants et extrants. Mais des analyses de sensibilité ont été effectuées afin d'analyser les effets des variations de prix des intrants et extrants sur les résultats. Au Mali, les fluctuations des prix des produits agricoles sont liées aux conditions de marchés, notamment pour les céréales. Les niveaux de prix du marché sont déterminés par l'équilibre de l'offre et de la demande depuis la libéralisation des prix intervenue après la restructuration du marché céréalier (Dioné & Staatz, 1987). Certaines conditions économiques liées au contexte économique mondial peuvent aussi influencer les niveaux de prix des intrants et extrants. C'est le cas par exemple de la dévaluation du Franc CFA intervenue en janvier 1994 dont l'impact sur le secteur agricole diffère selon que l'on considère les cultures vivrières et les cultures d'exportation. En effet, suite à la dévaluation de janvier 1994, les prix des cultures d'exportation ont suffisamment augmenté pour compenser la hausse des prix des intrants agricoles. Par contre, la situation a empiré en ce qui concerne les cultures vivrières allant jusqu'à une stagnation de l'utilisation des engrais due à la suppression des subventions (Gerner *et al.*, 1998).

La variabilité des conditions climatiques

Elle a une influence importante sur le niveau de production agricole d'une année à l'autre. Les analyses des scénarios de base du modèle régional aussi bien que du modèle ménage-paysan, ont été faites dans les conditions de pluviométrie d'une année normale. Les niveaux de rendements et de production agricole obtenus avec les options techniques de cultures sont largement supérieurs à ceux que l'on peut observer en année de faible pluviométrie. En année sèche, il y a une baisse du niveau de productivité et de production agricole comparativement à une année humide ou une année de pluviométrie normale. En effet, le climat soudano-sahélien est par ailleurs capricieux et très fluctuant. Cette variabilité des conditions climatiques est un facteur à considérer dans la mise au point des innovations technologiques notamment en ce qui concerne la diversité des choix variétaux adaptés aux risques climatiques.

7.4 Productivité des systèmes de production non durables

L'analyse des systèmes de production non durables effectuée avec le modèle ménage-paysan a révélé une différence de productivité entre types de ménage-paysan. Ces derniers ont adopté des stratégies de production différentes en fonction de la disponibilité en ressources et en équipement. Les bilans des éléments nutritifs sont négatifs pour les trois types de ménages-paysans à cause des options techniques non-durables pratiquées. L'analyse du scénario perspective d'une agriculture durable (SPI), avec le modèle régional a révélé qu'un niveau de productivité élevé peut être obtenu en condition de durabilité absolue. La comparaison du scénario perspective de durabilité (SPI) au *niveau régional* et celle de la situation actuelle non-durable au *niveau ménage-paysan*, fait appa-

raître des différences notables concernant les modes d'allocation des ressources en terres et le niveau de productivité .

La correction de ces écarts entre systèmes non-durables et scénario perspective (SP1) entraîne quelques implications au niveau ménage-paysan telles que :

- la gestion des terres selon leur qualité et aptitude,
- l'intégration de la sylviculture dans les systèmes de production,
- l'introduction de la sole fourragère dans les systèmes de culture traditionnels,
- la pratique de la supplémentation du bétail,
- la pratique des options techniques alternatives durables.

7.5 Des pratiques non-durables à la durabilité absolue : quelles possibilités pour les pratiques paysannes?

En matière de durabilité, toutes les études réalisées dans le Mali-sud (van der Pol, 1992 ; Berckmoes *et al.*, 1988,) sont unanimes là-dessus, dans la zone Mali-sud, malgré l'intensification de la principale culture de rente (le coton), les pratiques paysannes actuelles entraînent l'épuisement des terres. Les bilans de la matière organique et des éléments nutritifs obtenus dans les résultats du modèle ménage-paysan (Tableau 5.3) confirment encore ces premiers constats.

Le système de production intensif durable de l'agriculture mixte analysée en perspective au niveau régional, a par contre une très haute productivité due à des apports élevés en fertilisants. Mais force est de reconnaître que la pratique d'un tel système au niveau paysan ne pourra pas être faite à court et moyen terme. Car de nombreuses contraintes d'ordre techniques et socio-économiques subsistent, notamment celles liées à l'accessibilité et à la rentabilisation de l'utilisation des engrais minéraux. Que faut-il faire donc pour changer la situation actuelle? En d'autres termes, la question principale qui reste posée est que : *de la non-durabilité à la durabilité absolue : quelles possibilités pour les pratiques paysannes?*

Le développement agricole durable passe nécessairement par des changements des pratiques paysannes à travers l'adoption de nouvelles technologies alternatives et durables. Les résultats des analyses des scénarios de mesures politiques ont montré qu'on peut améliorer très sensiblement à l'aide de mesures politiques, le taux d'adoption des options alternatives durables au niveau ménage paysan jusqu'à 40% environ. En matière de perspective de durabilité, les possibilités qui existent pour les pratiques paysannes à court/moyen et long terme sont les suivantes :

A court et moyen terme

L'introduction des cultures fourragères amélioratrices de la fertilité du sol dans les systèmes non-durables serait bénéfique. L'exemple de l'introduction du Stylosanthes dans les systèmes de culture traditionnels a été décrit par Kébé (1993). Ces types de cultures seraient soit une légumineuse ou une culture fourragère. Cette culture améliorante doit être intégrée par une sole fourragère inclut dans le système de culture traditionnelle paysan. En condition de non-durabilité, dans le choix des options techniques ce sont les légumineuses (niébé notamment) et les cultures fourragères (Stylosanthes et Andropogon) qui ont été favorisées à cause de leur effet bénéfique sur le sol et du fait qu'elles permettent de minimiser l'apport en éléments nutritifs au niveau paysan. Sans compter leur intérêt comme aliment bétail de qualité utilisable pour la supplémentation du bétail.

A long terme

Les résultats d'analyse des scénarios politiques ont montré que les ménages-paysans n'adoptaient qu'une proportion limitée d'options alternatives durables avec des mesures politiques très incitatives. Dans le scénario perspective (SP1), l'ambition des décideurs au niveau régional étaient d'atteindre à long terme les objectifs de sécurité alimentaire et de revenu maximum en condition de durabilité absolue, c'est-à-dire sans épuisement des sols.

Cependant la comparaison entre les résultats de ce scénario perspective et ceux des scénarios politiques (Tableau 6.6, Figures 6.5 et 6.6) amène à conclure que les décideurs au niveau régional sont obligés de limiter leurs ambitions en matière de développement agricole durable, compte tenu des comportements des ménages-paysans en matière d'adoption des nouvelles technologies durables.

En effet le scénario perspective d'un développement agricole durable avec uniquement (100%) des options alternatives durables, ne pourra être que partiellement pratiqué, car les ménages-paysans ont tendance à adopter une **stratégie de production mixte** en combinant des options techniques non-durables avec quelques options techniques alternatives durables (Figure 7.1).

Une série de mesures politiques et institutionnelles sont toujours nécessaires pour stimuler d'avantage les ménages-paysans à la pratique d'une agriculture durable.

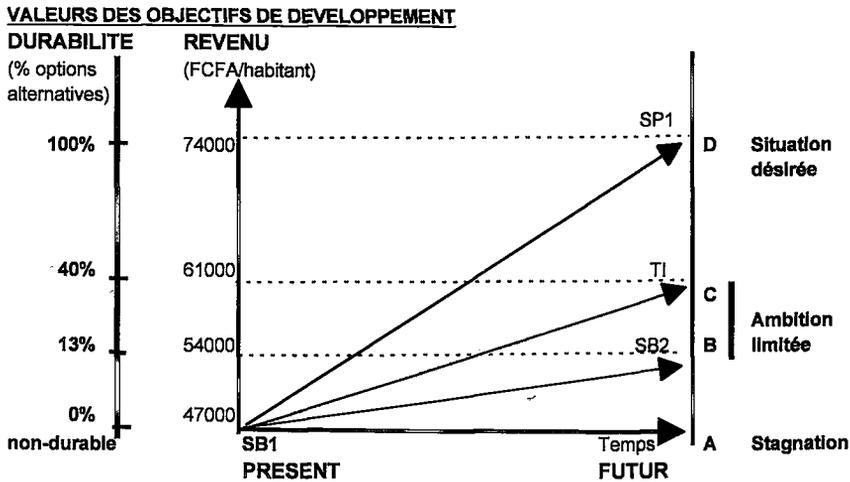


Figure 7.1. Possibilités de développement agricole durable au niveau régional selon les comportements des ménages-paysans et les mesures politiques mises en œuvre.

Notes : SB1 : Scénario de base 1 (systèmes non-durables) ; SB2 : Scénario de base 2 (introduction options alternatives sans mesures politiques) ; TI : Scénarios politiques très incitatives ; SP1 : Scénario perspective de développement agricole durable

7.6 Les conditions de l'instauration d'une agriculture durable

Rentabilisation de l'utilisation des engrais minéraux

En plus des choix techniques, ce sont les conditions économiques qui vont déterminer la motivation des paysans à aller sur le chemin d'un développement agricole durable. En effet la rentabilisation de l'utilisation des engrais sur les cultures constitue le facteur déterminant de la motivation des paysans à utiliser des niveaux supérieurs de fertilisation suffisamment élevées pour éviter l'épuisement et la dégradation des terres. Selon Gerner *et al.* (1998), les paysans sont devenus plus réticents à utiliser les engrais sur le maïs au Mali-sud après la dévaluation du F CFA. C'est vrai que les paysans ne sont intéressés à utiliser les engrais que si les bénéfices escomptés sont nettement supérieurs aux prix des engrais et compensent le travail supplémentaire requis (épandage, désherbage, récolte, despathage, etc.), les risques encourus (pertes de culture pendant la récolte et pourriture en magasins de stockage) et les coûts d'opportunité engagés. Dans la situation actuelle, pour arrêter l'épuisement et la dégradation des terres dues aux pratiques paysannes non-durables, il faudrait que l'utilisation des quantités minimales d'engrais nécessaires pour maintenir le bilan des éléments nutritifs soit faite dans les conditions économiques (niveaux de prix et rapports de prix intrants/extrants) favorables qui permettent de rentabiliser l'utilisation des engrais. L'amélioration de la rentabilité d'utilisation des fertilisants minéraux sur les cultures doit être stimulée à travers une série de mesures parmi lesquelles :

La politique d'amélioration de la disponibilité et de l'accessibilité des engrais

Au niveau ménage-paysan il existe souvent des contraintes d'accessibilité aux engrais minéraux qui peuvent être d'ordre économique ou organisationnel. Sur un plan économique, les niveaux de prix des engrais sont souvent tels qu'ils nécessitent une subvention pour permettre à une majorité de ménages-paysans de les acquérir. Sur un plan organisationnel, les circuits d'approvisionnement en engrais sont souvent complexes et longs, ce qui posent des problèmes d'accessibilité à un certain nombre de producteurs. La situation en matière d'approvisionnement en engrais au Mali, varie selon les zones (Koné & Sissoko, 1998). Pour améliorer l'accessibilité et la disponibilité des engrais, la création d'unités de production locale d'engrais semble une nécessité.

En matière d'approvisionnement en engrais des pays de l'Afrique subsaharienne, la demande en éléments nutritifs pour les besoins d'intensification est de loin supérieure à l'offre disponible. Car la production des quelques usines implantées dans la sous-région n'arrive pas à satisfaire les besoins, et une partie aussi de la production est exportée vers d'autres régions (Gerner *et al.*, 1998). Cette faible disponibilité en éléments nutritifs constitue la principale contrainte à l'intensification et au développement durable, si aucune solution n'est envisagée pour l'accroître. Une des solutions à moyen et long terme est d'accroître la disponibilité locale à travers la création d'usines d'engrais locaux.

Au Mali, la demande globale d'engrais au Mali, varie selon les sources statistiques. Durant la campagne 1988/89 par exemple, la consommation totale d'engrais minéraux au Mali exprimés en termes de nutriments a été estimée (Kieft *et al.*, 1994, citant IFDC, 1992) à 23 896 tonnes métriques (N, P₂O₅, K₂O). Les zones de forte consommation étant les zones d'intensification de la riziculture (zone office du Niger) et de la culture cotonnière (zone CMDT) qui consomment à elles seules 90% des engrais minéraux au Mali.

En zone cotonnière, comme déjà spécifié pour le Cercle de Koutiala (Chapitre 1), plusieurs études (Veldkamp *et al.*, 1991 ; van der Pol, 1992) ont montré qu'il y a des déficits importants du bilan des éléments nutritifs tant pour le coton que pour les cultures vivrières. L'offre d'engrais au Mali est constituée de la production locale et du total des importations. Les niveaux d'offre peuvent être aussi influencés par l'aide internationale et bilatérale. La production locale se limite à l'exploitation du phosphate naturel de Tilemsi (PNT), dont les réserves sont estimées à 20 millions de tonnes métriques (tm), à ciel ouvert (Kieft *et al.*, 1994). L'offre du PNT au Mali dépasse largement la demande, à cause surtout des contraintes de vulgarisation que ce type d'engrais a rencontré auprès des paysans. Il existe tout de même une volonté politique des décideurs pour augmenter la production et améliorer le taux d'utilisation de cet engrais. Concernant les importations, au Mali, à part le PNT tous les autres types d'engrais minéraux sont importés. Le total des importations en engrais minéraux au Mali depuis 1980 se situait entre 30 000 et 50 000 tonnes par an, dont 54% de complexe coton, 38% d'urée et 8% d'autres types d'engrais. Les procédures d'importations ont été beaucoup plus libéralisées depuis 1991, pour mettre fin au monopole des gros importateurs agréés (Umima, Comadis), et la part des commerçants privés dans le total des importations a augmenté jusqu'à 10% à partir de 1991.

Niveaux de prix et problématique de la subvention des engrais

Concernant l'évolution des prix des engrais sur le marché mondial, dans la majorité des pays de l'Afrique de l'ouest, les prix de vente des engrais ont doublé au cours des deux dernières années à cause de la hausse des prix mondiaux, de la suppression des subventions et de la dévaluation. L'augmentation substantielle des prix sur le marché des engrais arrive à un moment où l'aide en engrais a presque tari en Afrique de l'Ouest. Les récentes augmentations de prix sont dues principalement à la forte augmentation de la consommation d'engrais dans d'autres régions d'autres régions du monde. La dévaluation du F CFA intervenue en 1994 a provoqué à son tour une hausse des prix des engrais au niveau des producteurs. La problématique de la subvention des engrais reste à jamais posée, compte tenu du faible niveau de revenus des ménages-paysans et du budget limité de l'Etat.

Politique de fixation des prix des produits agricoles : à qui profite la libéralisation du marché?

L'amélioration du rapport de prix entre extrants et intrants et la création d'un environnement économique adéquat, sont des conditions très favorables à l'intensification. En matière de politique de commercialisation ; les priorités en matière d'amélioration des filières de commercialisation des principaux extrants sont : d'enrayer les goulots d'étranglement des circuits de commercialisation et diversifier les débouchés. Une amélioration de l'efficacité de circuits de commercialisation des extrants, passe aussi par une meilleure organisation et la responsabilisation des acteurs des filières des principaux extrants. Au Mali, comme dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne, la politique des prix des produits agricoles, amorcée durant les premières années d'indépendance, était marquée par une présence forte de l'Etat en matière de pratique de commercialisation et de contrôle des prix. Cependant depuis les années quatre vingt, une profonde restructuration du marché céréalier avec une libéralisation des prix des principaux produits agricoles et une forte réduction du rôle de l'Etat dans les systèmes de commercialisation des produits agricoles. Ceci signifie que les prix sont déterminées par l'offre et la demande, et non fixées par l'état. Les niveaux des prix des céréales dépendent ainsi des conditions des marchés internes et seul le coton est vendu à un prix fixe dé-

terminé selon les conditions du marché mondial par la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT).

Le principal constat qui peut être fait est que la libéralisation des prix favorise beaucoup plus les commerçants-intermédiaires par rapport aux producteurs et aux consommateurs. En effet concernant le marché des principales céréales, il y a d'un côté des producteurs nécessiteux en matière de liquidité avec un niveau d'organisation assez bas en matière de commercialisation, et de l'autre des commerçants nantis assez bien organisés dont la force économique et le niveau d'organisation les permettent d'adopter des stratégies adaptées au condition du marché :

- **En période post-récolte** : les commerçants -intermédiaires fixent souvent un prix d'achat plancher auquel tous commerçants -acheteur doit se référer pour imposer sur le marché. Dans une telle situation, les producteurs n'arrivent pas à adopter une stratégie commune, à cause d'une part d'un manque d'organisation (absence de coopératives de producteurs) et d'autre part de la condition et de la nécessité économique (nécessité de liquidité) diversifiée des différents producteurs. Dans une telle situation ces derniers sont obligés de brader leurs produits à des prix non-rémunérateurs.
- **En période de soudure** : les commerçants intermédiaires pratiquent très souvent la rétention de stocks pour limiter l'offre et maintenir un niveau de prix élevé sur les marchés de consommation. Ceci défavorise les consommateurs dont le pouvoir d'achat n'arrive pas à faire face dans certains cas à la montée vertigineuse du prix des céréales en période de soudure. Signalons que la période de soudure correspond aux derniers mois avant l'apparition des nouvelles récoltes sur le marché (juillet/août/septembre). Face à cette situation la plupart des consommateurs procèdent à une substitution entre produits vivriers en fonction des niveaux de prix observés. Au cours de cette période de soudure il y a aussi l'apparition de producteurs-consommateurs qui n'ont plus de réserves et sont obligés d'acheter encore sur le marché avant les nouvelles récoltes. Ces derniers (aussi bien que les consommateurs non-producteurs) sont ainsi pénalisés une seconde fois par des prix de vente élevés dus à la stratégie de rétention des stocks des commerçants -intermédiaires qui réalisent ainsi des marges-bénéficiaires substantielles.

Valorisation des terres et sécurisation foncière

Le Mali dispose d'une superficie totale de 1,204 millions Km² dans laquelle, selon les études du projet inventaire des ressources terrestres (PIRT, 1983), 14% était apte à l'agriculture, 25% impropres aux cultures se prête aux pâturages et à la foresterie et le reste du pays est occupé par le Sahara. La gestion des terres est très fortement marquée par la coexistence du droit foncier juridique face au droit coutumier. Le premier étant celui régit par les textes officiels de l'Etat, le second étant le maître du jeu sur le terrain, et qui domine en pratique le droit juridique. C'est en effet au niveau des centres urbains que le droit juridique est beaucoup plus maîtrisé et pratiqué en vigueur par l'Etat. Par contre, en milieu rural, riche de près de 11500 villages et fractions nomades sur l'ensemble du territoire national, la situation foncière est dominée par le droit coutumier qui est géré par une élite très cosmopolite.

L'enjeu foncier au Mali est ainsi dominé par une situation de plus en plus conflictuelle entre les deux principales logiques juridiques qui se ramènent d'une part aux droits coutumiers des sociétés communautaires et d'autre part aux exercices d'écriture et de relecture du code centralisateur de l'Etat fondé sur des concepts et mécanismes juridiques étrangers aux sociétés locales (Magassa & Coulibaly, 1994). L'antagonisme entre les deux logiques juridiques est accentué par la diminution de plus en plus accentuée des ressources naturelles en rapport avec la croissance démographique,

ainsi que par une vision opposée du concept d'appropriation des terres. En effet, la vision des adeptes du droit coutumier considère la terre comme bien communautaire inaliénable et don des ancêtres, et l'autre vision juridique formel de l'Etat, considère la terre comme bien privé, divisible, séparable et compétitif. Cet antagonisme entre droit coutumier et droit juridique officiel, résulte d'une confusion aboutissant à la tendance de l'absence de droits tant traditionnelles que modernes.

En matière de développement agricole, la politique de valorisation des terres constitue un préalable indispensable à l'instauration de systèmes de production durable dans les pays de l'Afrique subsaharienne (Pieri, 1998). Tous les acteurs du développement agricole doivent participer de près ou de loin à cette valorisation des terres. Il s'agit des décideurs régionaux et nationaux, de la communauté internationale, des paysans et autres partenaires du développement. L'agriculture se distingue des autres activités économiques (Baum & Tolbert, 1985) par l'importance de la terre comme seul moyen de production. En plus de la valorisation des terres, la sécurité foncière est aussi une nécessité car elle détermine largement le degré et les modes d'utilisation des terres par les paysans. *Un paysan qui produit dans l'insécurité foncière utilisera des pratiques agricoles moins onéreuses qui provoquent la dégradation biologiques et physiques des sols.* Par contre dans une parfaite sécurité alimentaire, les paysans propriétaires n'hésiteront pas à adopter les nouvelles innovations qui augmentent la production et protègent la terre.

Les gouvernements ont la responsabilité d'assumer les conditions légales d'utilisation et d'appropriation des terres en définissant un droit foncier approprié et en garantissant son application effective. Cependant il faudrait encore dans beaucoup de cas des mesures pour promouvoir la sécurité foncière et faciliter l'acquisition des terres par des arrangements financiers notamment vis à vis des jeunes agriculteurs qui n'ont pas assez de moyens pour acheter des terres. Dans l'utilisation et la gestion des ressources communes (cas des pâturages naturels communs) : le statut foncier actuel de ces terres permet-il de procéder aux investissements liés à l'intensification Il faut donc assurer la sécurité foncière pour stimuler et garantir les investissements sur les terres en matière d'intensification et de développement agricole. Le manque de sécurisation foncière est une contrainte majeure à une meilleure utilisation de l'espace aboutissant à compromettre la pratique de l'intensification à travers la fertilisation des champs. En effet le statut ambiguë des terres n'encourage pas les ménages-paysans à investir en termes de valorisation du capital-sol. La sécurisation foncière des producteurs sur leur domaine familial et des groupements de producteurs sur des espaces communautaires (terroirs villageois, espaces pastoraux) doit donc être un objectif prioritaire de la politique foncière (Yung *et al.*, 1992).

Responsabilisation des collectivités de base par la décentralisation

Le processus de décentralisation amorcée par l'Etat sera sans doute le meilleur créneau pour mettre fin à ce vide juridique et cet enjeu foncier entre Etat et structures paysannes traditionnelles du milieu rural. En effet l'Etat a adopté la loi 93/008 du 29 janvier 1993 portant sur la libre administration des collectivités territoriales, et la création de communes urbaines et rurales pour une décentralisation effective de tout le pays. Ces collectivités locales seront ainsi responsables de la conception et de la mise en œuvre de leur propre développement sur la base d'un domaine public et privé, ainsi que de ressources fiscales et de services propres. Cette décentralisation doit permettre entre autres de redimensionner le rôle de l'Etat et de l'appareil administratif en vue de favoriser l'émergence d'initiatives locales et l'avènement d'un développement mieux maîtrisé par les populations organisées là où elles se trouvent.

Coordination des actions de développement au niveau régional

Dans le Cercle de Koutiala plusieurs actions de développement sont menées par des organismes nationaux ou des organisations non gouvernementales (ONG). Mais ces actions sont menées le plus souvent dans le cadre de projets de développement conçus ailleurs sans la participation du CLD. Ces projets agissent aussi de manière sectaire et isolée. Ce qui pose de sérieux problèmes de coordination et d'intégration des actions et objectifs des projets à ceux du Comité Local de Développement (CLD). Il faudrait donc une meilleure politique d'intégration et de coordination des actions de développement dès leur conception pour une plus grande efficacité. Dans le cadre de la décentralisation 35 communes rurales sont prévues dans le Cercle de Koutiala. Ces communes auront une autonomie de gestion et prendront ainsi en main la gestion de leurs ressources aux niveaux des terroirs respectifs.

Orientation de l'investissement en milieu rural

Cet objectif est plus ou moins atteint d'années en années à travers le développement de la culture du coton, la principale culture de rente en pleine expansion. Le problème majeur qui se pose est la gestion adéquate du surplus économique qui est dégagé de la culture du coton. La plupart des paysans-cotonniers n'ont pas une stratégie d'investissement viable en termes de gestion des revenus tirés du coton. La plupart d'entre eux investissent dans le bétail, ce qui contribue à l'accroissement vertigineux du cheptel sans pour autant développer la pratique de la supplémentation. Ceci a un *effet pervers sur l'environnement*, avec la dégradation des parcours due au surpâturage. Le revenu tiré du coton est aussi surtout orienté vers l'acquisition de biens de consommation de luxe (motos, véhicules, télévisions). Or ce revenu devait permettre aux paysans d'autofinancer leurs besoins en intrants et équipement et se passer ainsi du cercle vicieux du crédit agricole bancaire. Il faut donc que l'Etat à travers l'encadrement stimule les ménages-paysans à initier d'autres modes d'investissements en milieu rural (Figure 7.2) tels que la création de petites et moyennes unités de transformation de produits agricoles (lait, céréales, fruits, etc.). Ceci permettra d'écouler les excédents et à amorcer la transformation de l'agriculture traditionnelle vers une agriculture plus dynamique en relation avec d'autres secteurs de l'économie nationale.

Politique de recherche scientifique et technologique orientée vers le développement agricole durable

L'importance du rôle de la recherche agronomique dans le processus global de développement agricole est indéniable. Il permet en effet de diagnostiquer les contraintes, et de concevoir et diffuser les technologies innovatrices permettant de dynamiser le développement agricole. Les différentes étapes de la recherche scientifique sont exécutées à travers les activités de recherche suivantes sont :

- **Etudes diagnostiques, analytiques et exploratoires**, en vue d'identifier et de répertorier les multiples contraintes qui entravent le développement agricole. Ces contraintes qui sont d'ordre socio-économiques, agro-écologiques et agro-techniques doivent être classifiées selon leur niveau de maniabilité par la recherche.
- **Investigations (essais) en milieu contrôlé** dans le cadre de la mise au point de nouveaux paquets technologiques afin de trouver des solutions aux différentes contraintes identifiées.

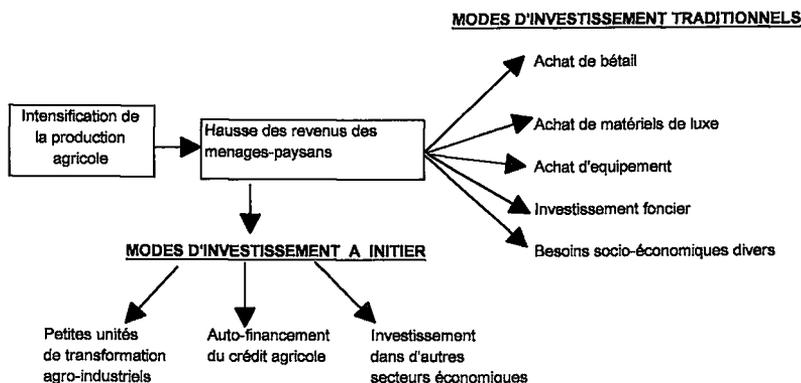


Figure 7.2. Modes de gestion actuels des revenus des ménages-paysans et possibilités d'orientation de l'investissement en milieu rural.

- **Test des innovations au niveau paysan** pour corriger les imperfections et les rendre plus appropriées.
- **Diffusion des innovations testées à grande échelle** en étroite collaboration avec les services de vulgarisation.
- **Formulation et analyse des scénarios de développement** au niveau macro-économique (niveaux national et régional) en intégrant les objectifs généraux de développement fixés par les décideurs.
- **Formulation des recommandations** pour l'orientation globale du processus de développement agricole au niveau régional et national, et spécifier les mesures politiques d'accompagnement à prendre en direction du monde paysan pour instaurer un développement agricole durable.

Pour mener à bien ce rôle primordial dans le processus de développement, la recherche doit nécessairement bénéficier des moyens et conditions adéquats. Il s'agit des ressources humaines compétentes, expérimentées et spécialisées dans différents domaines, des ressources financières et des équipements et infrastructures. Pour bâtir sa stratégie de développement sur une base scientifique solide, l'Etat doit donc concourir à l'acquisition de ces moyens et conditions pour la recherche afin que celle-ci puisse jouer pleinement son rôle primordial dans le processus de développement. Ainsi les options techniques intensives durables, décrites et analysées dans le scénario perspective (SP1) doivent être testées par la recherche et diffusées en milieu paysan. Dans le même temps des mesures politiques telles que la politique des prix doivent être prises pour inciter les paysans à adopter de telles technologies intensives et durables.

Les résultats obtenus et analysés dans les différents chapitres ont permis d'aborder :

- La problématique de l'adoption des nouvelles technologies durables comme alternatives aux pratiques non durables au niveau ménage-paysan.

- La formulation et l'analyse du scénario perspective (Chapitre 4) et sa comparaison avec les systèmes de production non durables a permis d'investiguer le futur en matière de planification du développement agricole durable.
- L'analyse des liaisons macro et micro pour coordonner les objectifs de développement du niveau régional au niveau ménage paysan.
- L'analyse des mesures politiques adéquates et incitatives pour stimuler les ménages-paysans vers la pratique d'une agriculture durable.

Le Cercle de Koutiala constitue l'un des potentiels vivriers de la zone Mali-sud et du Mali tout entier en matière de production cotonnière aussi bien que vivrière. Mais cette production agricole importante ne doit pas se réaliser aux dépens de l'épuisement des sols. Sinon ceci aboutira sans nul doute à moyen et long terme à un problème environnemental dont l'amorce a déjà commencé dans le bassin cotonnier de Koutiala.

Il faudrait dans ce cas que des mesures politiques appropriées puissent être prises par les décideurs (niveau régional et national), pour pouvoir inciter les paysans à s'orienter d'avantage vers la pratique d'une agriculture durable par l'adoption d'options techniques alternatives, intensives et durables. Ceci permettra au Cercle de continuer à occuper la place importante qui est le sien dans le développement agricole durable au Mali.

Bibliographie

- Altieri, M.A., 1983. *Agroecology : The scientific basis of alternative agriculture*. Berkeley, Calif : Division of Biological Control, University of California.
- Bade, J., H. Hengsdijk, G. Kruseman, R. Ruben & P. Roebeling, 1997. *Farm Household modelling in a regional setting : The case of « Cercle » of Koutiala, Mali*. DLV-Report n° 6, Wageningen, AB- DLO/WAU, April 1997. 39 p.
- Bakker, E.J., M.S.M. Touré, K. Sissoko & W. Quak, 1995. *Modélisation et politique de développement : Perspectives d'un développement agricole durable en zone soudano-sahélienne du Mali*. Séminaire de présentation des résultats de l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) organisé par le projet PSS (Juin 1995) à Bamako. IER/AB-DLO/WAU, 143 p.
- Bakker, E.J., T. van Rheenen, M.S.M. Touré, K. Sissoko, M.K. van Ittersum & N. de Ridder, 1996a. *Analyse de l'utilisation de la terre à l'aide de la programmation linéaire à buts multiples (Manuel de cours)*. Rapport PSS, n° 30, IER/AB-DLO/WAU, Wageningen, 150 p.
- Bakker, E.J., H. Hengsdijk & J.J.M.H. Ketelaars, 1996b. *Description quantitative des systèmes de production animale en zone soudano-sahélienne*. Rapport PSS n°27, IER/AB-DLO/WAU, Wageningen, 36 p.
- Bardhan, P.K., 1980. *Interlocking factor markets and agrarian development : a review of issues*. Oxford Economic Papers 32, 82 :97.
- Barnum, H.N. & Squire L., 1979. *A model of an agricultural household : theory and evidence*, World Bank/ The Johns Hopkins. University Press, Baltimore, 107 pp.
- Bationo, A., A.U. Mokwunye, 1991. *Role of manures and crop residues in alleviating soil fertility constraints to crop production : with special reference to the Sahelian and Sudanian zones in West -Africa*. Fertilizer Research 29, 117 -125.
- Baum, W.C., S.M.Tolbert, 1985. *Investing in Development. Lessons of World Bank Experience*. World Bank. Oxford University Press. 610 p.
- BCR, 1991. *Recensement général de la population et de l'emploi, 1987*. Bureau Central de Recensement (BCR) du Mali.
- Beets, W.C., 1990. *Raising and Sustaining Productivity of smallholder Farming Systems in the Tropics*. A handbook of sustainable agricultural development. 738 p.
- Behnke R.H. & I. Scoones, 1992. *Rethinking range ecology : implications for rangeland management in Africa*. Environment Department. The World bank, sector policy and research staff. Environment. Working paper n°.53. The international Bank for Reconstruction and Development, Washington DC, 31p.
- Berckmoes, W.M.L., E.J. Jager & Y. Koné (1990). *L'intensification agricole au Mali-Sud : souhait ou réalité ?* Amsterdam : Royal Tropical Institute - Bulletin n° 318.
- Benoit-Cattin, M. & J.C. de Grandi, 1994. *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne, Introduction*. Proceedings du séminaire régional FAO/CIRAD, Janvier 1994. 304 p.
- Benoit-Cattin, M., P. Calkins & D. Kébé, 1991. *Perspectives de la modélisation des systèmes agraires villageois : l'exemple des régions cotonnières du Mali*. Les cahiers de la recherche développement 29, 14-29.
- Berthé, A.L., A. Blokland, S. Bouaré, B. Diallo, M.M. Diarra, C. Geerling, F. Mariko, H. N'Djim & B. Sanogo, 1991. *Profil d'environnement Mali-Sud : Etat des ressources naturelles et potentialités de développement*. Institut d'Economie Rurale (IER)/Institut Royal des Tropiques (KIT), Amsterdam. 80 p.
- Bond, M.E., 1983. *Agricultural Responses to Prices in sub-Saharan African Countries*, IMF Staff Papers 30, 703-726.
- Bosman, H.G., H.A.J. Moll & H.M.J. Udo, 1997. *Measuring and interpreting the benefits of goat keeping in tropical farm systems*. Agric. Syst. 53, 349-372.
- Breman H., 1990. *Integrating crops and livestock in Southern Mali : Rural development or environmental degradation? in : Theoretical Production Ecology : Reflections and prospects* (Rabbinge *et al.*, eds) Simulation Monographs 34, Pudoc, Wageningen.
- Breman, H., & J.J. Kessler, 1994. *Role of woody plants in agro systems of semi-arid region*.
- Breman, H. & N. de Ridder, 1991. *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. Editions Karthala, ACCT, CABO-DLO, et CTA, Paris, Wageningen, 405 p.
- Breman, H. & K. Sissoko (eds), 1998. *Intensification Agricole au Sahel*. Edition Karthala, Paris. 996 p.
- Breman, H. & N. Traoré (eds), 1987. *Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes Mali Sahel D(86)302 Club du Sahel/CILSS/OECD*, Paris. 243 pp.

- Brossier, J. & E.J. Jager, 1984. Analyse technico-économique d'unités de production agricole sénoufo à Fonsébougou. Université agronomique de Wageningen (Mem. d'Ing. Agr.).
- Brouwers, M. & B. Kéita, 1976. Annexes de M. Brouwers & M. Raunet, 1976. Etude morphopédologique du plateau Mandingue (Cercle de Kita et Région de Faladié) au 1/200 000 en vue de son développement agricole. Rapport Institut de Recherche agro-économique Tropicale et des Cultures Vivrières (IRAT), République du Mali.
- Budd, J.W., 1993. Changing food prices and rural welfare : a non-parametric examination of the Côte- d'Ivoire. *Economic Development and Cultural Change* 41, 587-603.
- Burger Dietrich, 1998. Le concept du développement durable. *Revue Agriculture et développement rural*, Volume 5, No. 1, Avril 1998 ISSN-0343-6462- p 52 -55.
- Camara, O.S., 1995. Utilisation des résidus de récolte et de fumier dans le Cercle de Koutiala. Bilan des éléments nutritifs et analyse économique. Thèse pour obtenir le titre de Docteur de Spécialité, Option : Agro-Economie, ISFRA, Bamako. Rapport PSS no. 18.
- Cissé, S. & P.A. Gossèye (eds), 1990. Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 1 : Ressources naturelles et population. Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO), Wageningen, Pays-Bas / Etude sur les Systèmes de Productions Rurales en 5ème Région (ESPR) Mopti, Mali, 106 pages.
- CMDT : Compagnie Malienne de Développement des Textiles, 1984. Influence de la politique macro-économique sur les performances de la région de Koutiala (Zone CMDT).
- CMDT : Compagnie Malienne de Développement des Textiles, 1994. Annuaire statistique. Résultats de l'Enquête Agricole Permanente 1993/94. Bamako : Suivi-Evaluation CMDT.
- CMDT-Koutiala, Section matériel agricole, 1997. Données statistiques sur les prix des intrants et du matériel agricole en zone CMDT de Koutiala.
- Colman, D. & T. Young, 1989. Principles of agricultural economics. Market and prices in less developing countries . Cambridge University Press, 323 p.
- Conranced, R., B. Stinner F. & House, 1987. Agricultural ecosystems in unifying concepts. John Wiley and Sons, New York.
- Conway, G.R. & E.B. Barbier, 1990. After the green revolution : Sustainable agriculture for development, Earthscan publications Ltd London. 205 P.
- Coulibaly & Joldersma, 1991. Rapport de recherche, DRSPR. 83 p.
- Crosson, P. & J.R. Anderson, 1995. Achieving a sustainable agricultural system in subsaharan Africa. Building blocks for Africa 2025, paper n°.2 Towards environmentally sustainable development in subsaharan Africa, A World Bank perspective, Washington D.C.
- Deaton A., 1992. Understanding Consumption. Oxford University press. 242 P.
- Debrah, S. & K. Sissoko, 1990. Sources and transfers of cash income in the rural economy : the case of small holder mixed farms in the semi-arid zone of Mali, ALPAN, network paper no. 25, ILCA, Adis Abeba, p. 11.
- Debrah, S., K. Sissoko & S. Soumaré, 1990. Disaggregated demand and policy analysis : The case of dairy demand in Mali. *Quarterly Journal of International Agriculture* 30, 137-148.
- De Janvry, A., M. Fafchamps & E. Sadoulet, 1991. Peasant Household behavior with missing market ; some paradoxes explained. *The Economic Journal* 101, 1400-1417.
- Delforce, J.C., 1994. Separability in farm-household economics : an experiment with linear programming. *Agricultural Economics* 10, 165-177.
- Delleré, R., 1993. Intensifying Agriculture and protecting the Environment in the tropics. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Wageningen, The Netherlands. In : M.G. Paoletti, T. Napier, O. Ferro, B. Stinner & D. Stinner (eds). Socio-economic and Policy issues for Sustainable Farming Systems. pp. 67-77.
- Dembéle, N'f., 1995. Etude économique de la disponibilité et de l'utilisation des suppléments dans l'alimentation des bovins au Mali. Etude de cas des éleveurs du Cercle de Koutiala. Thèse pour obtenir le titre de Docteur de Spécialité, Option : Agro-Economie, ISFRA, Bamako. Rapport PSS no. 14.
- Diejomaoh, V.P., 1973. Rural Development in Nigeria : The Role of Fiscal Policy, in *Rural Development in Nigeria*, Proceedings of the Annual Conference of the Nigerian Economic Society (Ibadan), p 97-118.
- Dioné, J. & J. Staatz, 1987. Market liberalization and food security in Mali. Michigan State University Agricultural Economics Staff Paper No. 87-73. 16 pp.
- Diouf, J., 1989. The Challenge of agricultural development in Africa. In : Sir John Crawford Memorial Lecture, November 2, 1989, Washington. Published by CGIAR secretariat.
- Direction régionale des Eaux & Forêts de Sikasso, 1996). Rapport annuel 1996.

- Djouara, H. *et al.*, 1994. Données de base du suivi-évaluation permanent des exploitations agricoles à Koutiala (campagne 1994/95). Equipe-Systèmes, CRR-A-Sikasso/IER-Mali.
- DNSI : Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique, 1991. Enquête Budget-consommation des ménages au Mali. Résultats : DNSI/PADEM, MPCI, 119 p. Bamako.
- DNSI : Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique, 1992. Annuaire statistique du Mali. Commissariat au Plan/Primature ; République du Mali. pp.187
- DNSI : Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique, 1993. Enquête agricole de conjoncture ; campagne 1992-1993 : résultats définitifs. République du Mali. 101 p.
- DRSPR : Division Recherche sur les Systèmes de Production Rurale, 1990. Rapports des commissions techniques spécialisées des campagnes 1989 à 1991.
- DRSPR : Division Recherche sur les Systèmes de Production Rurale, 1993. Suivi-évaluation 1992-1993, base de données, DRSPR, Sikasso.
- Duivenbooden, N. van, 1992. Sustainability in terms of nutrient elements, with special reference to West-Africa. CABO-DLO report 160, Wageningen, 261 p.
- Duivenbooden, N. van, R.A. Gosseye & H. van Keulen, 1990. Competing for limited resources : the case of the fifth region in Mali, Report no. 2, CABO-DLO et ESPR, CABO, Wageningen.
- Duivenbooden, N. van, P.A. Gossèye, F. Veeneklaas, S. Cissé, & H. v. Keulen, 1991. Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 4, « Scénarios de développement », CABO- Wageningen/ESPR Mopti. 182 p.
- Egg, J. & E.Grégoire, 1992. Les marchés céréaliers. Dans : P.M. Bosc, V.Dollé, P.Garin & J.M.Yung (eds). Développement agricole au Sahel. Tome 1 : Milieux et Défis. Collection « Documents Systèmes Agraires » n° 17. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).
- Ellis, F., 1988. Peasant Economics, Farm Household and agrarian development. Cambridge University Press, New York. 257 p.
- Equipe Modélisation des Systèmes : EMS, 1994. La programmation linéaire à buts multiples pour un développement durable dans le cercle de Koutiala : ressources, options techniques de production durable et premiers résultats de modélisation. Atelier du Projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) à Niono du 18 au 20 Septembre 1994, Rapport n° 10 PSS, IER/AB-DLO/WAU, Wageningen, 143 p.
- FAO, 1991. Sustainable development and management of land and water resources. Background document n° 1 for the FAO/Netherlands Conference on Agriculture and the Environment's Hertogenbosch, The Netherlands, 15-19 April 1991, 22 p.
- FAO, 1992. Sustainable Development and Environment : FAO Policies and Actions. Stockholm 1972- Rio 1992. FAO, Rome. 88 p.
- Feller, C.E., Fritsch, R. Poss & C. Valentin, 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). Dans : Cahiers, ORSTOM, série Pédologie, vol. XXVI : 25-36.
- Germer, H., M. Carney & E. Alognikou, 1998. Améliorer l'accès aux engrais par une privatisation pro-active en Afrique de l'Ouest. Dans : Breman & Sissoko (eds) : L'intensification agricole au Sahel, Edition Karthala, Paris, 996 p.
- Giraudy, F., M. Niang, 1996. Impact de la dévaluation sur les systèmes de production et les revenus-paysans en zone Mali-sud. CMDT : Compagnie Malienne de Développement des Textiles Suivi-Evaluation DPCG. Bamako (Mali). 17p.
- Gliessman, S.R., 1985. Economic and ecological factors in designing and managing sustainable agrosystems. In : Sustainable agriculture and integrated farming systems : 1984, Conference proceedings. T.C.Edens, C. Fridgen, S.L. Battenfield (eds), Lansing, Mich. : Michigan State University Press, p. 56-33.
- Goetz, S.J., 1992. A selectivity model of household food marketing behaviour in Sub-Saharan Africa. American Journal of Agricultural Economics 64, 444-452.
- Griffon, M., 1987. Le contexte agricole international et les possibilités de coopération Nord-Sud : un intérêt nouveau pour les politiques agricoles. Dans : Les Actes du Colloque ACCT/EIB sur « L'Entreprise agricole dans les Pays en voie de développement du 21 au 25 Septembre 1987 à Bordeaux, France, 203 p.
- Griliches, Z., 1964. Notes on the measurement of price and quality changes. In : Models of income determination. Studies in income and wealth 28, 301-404.
- Hazell, P.B.R., 1971. A linear alternative to quadratic and semi-variance-programming for planning under uncertainty. American Journal of Agricultural Economics 53, 53-62.

- Hazell, P.B.R. & R.D. Norton, 1986. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. MacMillan Publishing company, New York, 400 pp.
- Heemst, H.D.J. van, J.J. Merkelijn & H. van Keulen, 1981. Labour requirements in various agricultural systems. In : *Quart J. Int. Agr.* 20, 178-201.
- Hengsdijk, H. & G. Kruseman, 1993. Operationalizing the DLV program : an integrated agro-economic and agro-ecological approach to a methodology for analysis of sustainable land use and regional agricultural policy, DLV report no.1, Wageningen, AB-DLO, 107 pp.
- Hengsdijk, H., W. Quak, E.J. Bakker, J.J.M.H. Ketelaars, 1996. A Technical Coefficient Generator for land use activities in the Koutiala région of south Mali. DLV-Report n°5, AB-DLO, Wageningen. 96 p.
- IFDC, 1995. Impact de la dévaluation sur les prix des engrais et des produits agricoles au Mali. 17p.
- Jones, M.J., 1976. The significance of crop residues to the maintenance of fertility under continuous cultivation at Samaru, Nigeria. *Journal of Agr. Sci. (Cambridge)* 86, 117-125.
- Kasse M. & G. Lecointre, 1988. La question foncière au Sahel, Tome III. Les enjeux économiques. *Marchés Tropicaux* 718-720.
- Kébé Demba, 1993. Croissance démographique et intensification agricole au Mali. Modélisation technico-économique des systèmes agraires villageois. Thèse de Doctorat, Ensam-Montpellier.
- Kéita, B., K. Bitchibaly, L. Dioni & Z. Diarra, 1994. Etude des toposéquences dans le Cercle de Koutiala : Généralités. Rapport Général, Tome 2. Toposéquences Typiques de N'Tarla, Kaniko, Nampossela, M'Pessoba. Rapports particuliers TO1d. Institut d'Economie Rurale (IER), Laboratoire des sols- Sotuba, Mali.
- Kepas, 1983. The sustainability of agricultural intensification in Indonesia. A report of two workshops of the research group. Jakarta.
- Keulen, H. van, 1990. A multiple goal programming basis for analysing agricultural research and développement. In : R. Rabbinge, J. Goudriaan, H. van Keulen, F.W.T. Penning de Vries & H.H. van Laar (eds.). *Theoretical production ecology : reflections and prospects, Simulation Monographs* 34, Pudoc, Wageningen, pp. 265-276.
- Keulen H. van, 1994. Rôle de la modélisation dans la planification des interventions qui visent un développement durable. In : *Proceedings « Atéliér Modélisation et Politique de développement », Bamako, Mali. EMS/PSS.*
- Keulen, H. van & H. Breman, 1990. Agricultural development in the West African Sahelian Region : a cure against land hunger? *Agriculture, ecosystems and environment* 32, 177-197.
- Keulen, H. van & F.R. Veeneklaas F.R., 1993. Options for agricultural development : a case study for Mali's fifth region. Dans : F.W.T. Penning de Vries, P. Teng & K. Metselaar (eds). *Systems approaches for agricultural development*, Pudoc, Wageningen, p. 367-380.
- Keulen, H. van & J. Wolf, 1986. Modelling of agricultural production : weather, soils and crops. *Simulation Monographs* Pudoc, Wageningen. 479 p.
- Kieft, H., N. Kéita & A. van der Heide, 1994. Engrais fertiles? Vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali. ETC Netherlands, Leusden. 99 p.
- Koné, Y. & K. Sissoko, 1998. Organisation et contraintes des circuits d'approvisionnement des producteurs ruraux en engrais dans les zones d'encadrement de la CMDT et de l'Office du Niger. IER/CRRA-Niono. 15 p.
- Kruseman, G., H. Hengsdijk & R. Ruben, 1993. Disentangling the concept of sustainability : Conceptual definitions, analytical framework and operational techniques regarding sustainable land use, DLV report no. 2, Wageningen, 61 pp.
- Kruseman, G., R. Ruben & H. Hengsdijk, 1994. Modélisation des ménages paysans pour une utilisation durable des ressources du terroir : Estimation de l'efficacité des instruments de prix et du marché. Département Economie du Développement, Université Agronomique de Wageningen.
- Kruseman, G., R. Ruben, H. Hengsdijk & M. van Ittersum, 1995. Farm household modelling for policy scénarios on sustainable land use. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43, 111-123.
- Kruseman, G., J. Bade, H. Hengsdijk, R. Ruben & P. Roebeling, 1997. Farm Household modelling system for the analysis of sustainable land use and food security : Theoretical and mathematical description. DLV-Report n° 7, Wageningen AB-DLO/WAU. 56 p.
- Kuyvenhoven A., R. Ruben, G. Kruseman, 1995. Options for sustainable agricultural systems and policy instruments to reach them. In : J. Bouma, A. Kuyvenhoven, B.A.M. Bouman, J.C. Luyten & H.G. Zandstra (eds). *Proceedings of a symposium on eco-regionals approaches for sustainable land use and food production : 12-16 December 1994, ISNAR, The Hague/Dordrecht/Boston/London : Kluwer academic publishers in cooperation with CIP (International Potato center)*, pp : 187-212.
- Kuyvenhoven, A., R. Ruben & G. Kruseman, 1996. Technology, markets policies and institutional reform for sustainable land use in southern Mali. Wageningen Agricultural University. 31 p.

- Labonne, M., 1978. Modèle régionalisé de simulation de l'agriculture pluviale Sénégalaise. n°33, INRA, Paris, 59 p.
- Labonne, M., 1980. Problèmes des régions arides, modélisation de l'agriculture pluviale. Presses universitaires de France, Paris. 101 p.
- Leesberg, J., M. Kalé Sanogo & O. Diallo, 1990. La recherche sur les systèmes de production à l'office du Niger, ARPON, Niono, p. 38.
- Magassa, H. & C. Coulibaly, 1994. La dynamique foncière face aux exigences de développement durable : le cas de la zone sud du Mali. Dans : M. Benoit-Cattin & J.C. de Grandi (eds). Promotion de systèmes agricoles durables dans les Pays d'Afrique soudano-sahélienne, Proceedings du Séminaire régional organisé par la FAO et le CIRAD avec le concours du gouvernement Français. 304 p.
- Maiga, S.A., B. Témé, S.B. Coulibaly & L. Diarra, 1994. Ajustement structurelle et développement durable. Cas du Mali. IER/Overseas Development Institute (ODI), 92 pp.
- Meadows, D.L., 1972. Rapport du Club de Rome: Les limites de la croissance. Universe Books, New York.
- Medani, A.I., 1970. The Supply Response of African Farmers in Sudan to Price, Tropical Agriculture, Vol. 47.
- Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de l'Environnement, Mali, 1992a. Schémas Directeur du secteur du développement rural, Volume 2 : Stratégies de développement. Bamako.
- Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de l'Environnement, Mali, 1992b. Schémas Directeur du secteur du développement rural, Volume 3 : Plan d'action. Bamako (Mali).
- Moorthy, D.K., 1992. Economic development and Income Distribution (An Empirical Study), Discovery Publishing House, New Delhi. 331 p.
- Niangado, O., 1998. Agriculture sahélienne : situation actuelle et perspectives d'un développement durable. Dans : Breman & Sissoko (Eds), Intensification agricole au Sahel, Edition Karthala, Paris, 996 p.
- Office Malien du Bétail et de la Viande/OMBEVI, 1992. Synthèse des rapports des contrôleurs des foires et marchés à bétail. OMBEVI, Bamako, Mali.
- Oldeman, L., R. Hakkeling & W. Sombroek, 1991. World map of the status of human induced soil degradation, An explanatory note, 2nd ed. International Soil Reference and Information Center, Wageningen and United Nations environment programme, Nairobi.
- Oni, S.A., 1969. Production Response in Nigerian Agriculture : A case study of palm produce, 1949-1966. Nigerian Journal of Economic and Social Studies 11, 81-91.
- OPAM/SIM, 1995. Données de base de 1989 à 1994. Bamako.
- Pearce, D., E. Barbier & A. Markandy'a, 1990. Sustainable development : Economics and environment in the third world, London environmental economics center, Gower publishing company. 217 p.
- Penning de Vries, F.W.T & M.A. Djitéye (eds.), 1991. La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Res. Rep. 918. Pudoc, Wageningen. 525 p.
- Pieri, C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara, Min.de la Coopération, CIRAD, Montpellier, France, 444 p.
- Pieri, C., N. Sharma & I. Valencia, 1998. Investir dans la fertilité des terres un défi majeur pour l'avenir de l'Afrique subsaharienne. Dans Breman & Sissoko (eds). Intensification agricole au Sahel, Edition Karthala, 996 pp.
- Pol, F. van der 1992. Soil mining. An unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin 325, Royal Tropical Institute, Amsterdam, 48 pp.
- Pol, F. van der, 1993. Profits de l'intensification, KIT, Amsterdam.
- PIRL, Projet Inventaire des Ressources Ligneuses au Mali, 1987. Rapport de Synthèse, première phase : Formations végétales. Ministère chargé des Ressources Naturelles et de l'Élevage, Direction Nationale des Eaux & Forêts (Mali), BDPA-SCET-AGRI, CTFT, Sysame (France).
- PIRT, 1983a. Les ressources terrestres au Mali. Volume I. Atlas. Projet Inventaire Ressources Terrestres au Mali. Mali/USAID, Bamako, Mali, TAMS, New York, USA, 33 cartes au 1/500.000 + 33 transparents.
- PIRT, 1983b. Les ressources terrestres au Mali. Volume II. Rapport technique. Projet Inventaire Ressources Terrestres au Mali. Mali/USAID, Bamako, Mali, TAMS, New York, USA. 406 pp.
- PIRT, 1983c. Les ressources terrestres au Mali. Volume III. Annexes. Projet Inventaire Ressources Terrestres au Mali. Mali/USAID, Bamako, Mali, TAMS, New York, USA. 532 p.
- Projet Gestion de Terroir Développement Local San-Koutiala (PGT)/Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles, 1995. Rapport de synthèse première phase. CMDT, Koutiala. 58 p.
- Purseglove, J.W., 1974. Tropical crops. Dicotyledons. Longman, London. 719 p.
- Purseglove, J.W., 1975. Tropical crops. Monocotyledons. Longman, London. 607 p.
- Quak W., H. Hengsdijk, E.J. Bakker, K. Sissoko & M.S.M. Touré, 1996. Description quantitative des systèmes de production végétale en Zone Soudano-sahélienne. Rapport PSS, IER/AB -DLO/WAU, Wageningen, 80 p.

- Rabbinge, R. & M.K. van Ittersum, 1994. Tension between aggregation levels. In : L.O. Fresco *et al.* (eds). The future of the land. John Wiley & Sons, New York, pp. 31-40.
- Reardon, T. & Vosti, S., 1992. Issues in the Analysis of the Effects of Policy on Conservation and Productivity at the Household Level in Developing Countries. *Quarterly Journal of International Agriculture* 31, 380-396.
- Rheenen, T. van, 1995. Farm household level optimal resource allocation : an explorative study in Limestone area of East Java. Departments of economics and Theoretical production Ecology. PhD Thesis Wageningen Agricultural university, Wageningen.
- Ridder N. de & H.van Keulen, 1990. Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West African semi-arid tropics. (SAT) *Fert. Res.* 26, 299-310.
- Romero, C. & T. Rehman, 1989. Multiple criteria Analysis for Agricultural decision making. Elsevier Amsterdam, 241 p.
- Roose, E., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M.*, Paris, 108 p.
- Ruben, R., G. Kruseman, H. Hengsdijk, & J. Bade, 1998. L'impact de la politique agraire sur une utilisation durable des terres. Dans : H. Breman & K. Sissoko (eds). *Intensification agricole au Sahel*, Edition Karthala, Paris. 996 p.
- Sadoulet, E. & A.de Janvry, 1995. Quantitative development policy analysis. Baltimore and London : The Johns Hopkins University Press. 397 p.
- Scandizzo, P.L. & C. Bruce, 1980. Methodologies for measuring agricultural price intervention effects. Staff Working Paper no. 394. World Bank, Washington, D.C.
- Schweigman, C., 1993. Applications de la recherche opérationnelle : Problèmes de l'agriculture dans les pays en voie de développement, Institut Royal des Tropiques (KIT), Amsterdam. 201 p.
- Singh, I. & S. Janakiram, 1986. Agricultural household modeling in a multicrop environment : cases study in Korea and Nigeria, in Singh, Squire & Strauss (Eds). *Agricultural Households models : Extensions, applications and policy*. Baltimore, John Hopkins University Press for the World Bank, pp. 95-115.
- Singh, I., L. Squire & J. Strauss, 1986a. The basic household model : theory, empirical results, and policy conclusions. *Agricultural Household models : extensions, applications and policy*. Baltimore : The Johns Hopkins University Press. 335 p.
- Singh, I., L. Squire & J. Strauss, 1986b. *Agricultural household models : extensions, applications and policy*. Baltimore, The John Hopkins University Press for the World Bank, p. 48-91.
- Schipper, R.A., 1996. Farming in a fragile future : Economics of land use with applications in the Atlantic zone of Costa Rica. Department of Development Economics, Agricultural University of Wageningen, 276 p. (Doctorat thesis).
- Sissoko, K., 1993. Aspects techniques et socio-économiques de l'insertion de la sole fourragère dans les systèmes de culture traditionnels : cas des petits exploitants de Banamba au Mali. *Journal of West African Farming Systems Research Network* 3, 5-16.
- Sissoko, A.K., 1994. Aperçu du bilan et des perspectives des interventions pour résoudre les problèmes de développement au niveau du Cercle de Koutiala (1975-2000). CMDT et Comité locale de développement du Cercle de Koutiala. In : *Modélisation et politique de développement agricole durable, cas de Cercle de Koutiala*, Proceeeding Atelier EMS, Projet PSS, Niono, 18-20 Septembre 1994. Rapport PSS n° 10, IER/AB-DLO, UAW, Wageningen. 180 p.
- Sissoko, K. & S. Debrah, 1992. Rôle économique de l'élevage dans les petites exploitations en zone semi -aride du Mali : Etude de cas. *Journal RESPAO*, Vol.2, N°1, 1992.
- Sissoko, K., W. Quak, M.S.M. Touré, E.J. Bakker, O.S. Camara & N.F. Dembélé, 1998. Ressources de la zone soudano-sahélienne du Mali. Dans : H.Breman & K. Sissoko, Eds. *Intensification agricole au Sahel*, Edition Karthala, Paris, p. 515-537.
- Sivakumar, M.V.K., Konaté, M. & S.M. Virmani, 1984. Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : le Mali ICRISAT. *Bulletin d'information* n°19. Patancheru India. 294 p.
- Spharim, I., R. Spharim & C.T. de Wit, 1992. Modelling agricultural development strategy. In : Th. Alverda et al. (Eds), *Food from drylands*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. P 159-192.
- Spronk, J., & F.R. Veeneklaas, 1983. A feasibility study of economic and environmental scénarios by means of interactive multiple goal programming. *Regional Science and Urban Economics* 13, 141-160.
- Stoorvogel, J.J. & E.M.A. Smaling, 1990. Assessment of soil nutrient depletion in Sub-Saharan Africa, 1983-2000. Report 28, vol.1. Winand Staring Centre (SC-DLO), Wageningen, 173 pp.

- Tanner, C.B. & T.R. Sinclair, 1983. Efficient water use in crop production. Research or research? In : Taylor *et al.* (eds). Limitations to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy. p.1-27.
- Témé, B., H. Breman & K. Sissoko, 1995. Intensification agricole au Sahel : Mythe ou réalité? Rapport de synthèse du colloque international sur l'intensification agricole au Sahel ; Bamako (Mali), Dec.1995. 28 p.
- Thorbecke, E., 1982. Agricultural sector analysis and models in developing countries, FAO, Rome.
- Touré, D., E. Dembélé & R. Bosma, 1992. Propositions d'actions pour la zone « siwaa ». CLD, Koutiala, 24p.
- Traoré, G., 1998. Politiques d'intensification agricole au Sahel. Dans : Breman & Sissoko (Eds). Intensification agricole au Sahel, Edition Karthala, Paris, 996 p.
- Tsakok, I., 1992. Price analysis, The John Hopkins University Press, Washington.
- Veeneklaas, F.R, 1990. Dovelting technical and economic analysis. Erasmus Drukkerij, Rotterdam.
- Veeneklaas, F.R., S. Cissé, P.A. Gosseye, N. van Duivenbooden & H. van Keulen, 1991. Competing for limited resources : the case of the fifth region of Mali. Report 4 : Development scénarios. CABO/ESPR, CABO, Wageningen, 180 pp.
- Veldkamp, W.J., A.Traoré, M.K. N'Diaye, B. Kéita, & M. Bagayoko, 1991. Fertilité des sols du Mali-Sud/Office du Niger, Interprétation des données analytiques des sols et des plantes. République du Mali, IER/DRA-SRCVO, Agro-pédologie, Sotuba, Bamako. Cellule agro-pédologie Projet « Assistance au Laboratoire des sols/AGP ». Institut Royale des Tropiques, Amsterdam.
- Ven, G.W.J. van de, 1996. A mathematical approach to comparing environmental and economic goals in dairy farming on sandy soils in the Netherlands. Doctorat Thesis, Wageningen Agricultural University.
- Vierich, H.I.D.& W.A. Stoop, 1990. Changes in West African savanna agriculture in response to growing population and continuing low rainfall. Agriculture, Ecosystems and Environment 115-135.
- Wischmeier, W.H. & D.D. Smith, 1960. A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7 th Int. Congress Soil Sci., Vol. I, p. 418-425.
- Wit, C.T. de, H. van Keulen, N.G. Seligman & I. Spharim, 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of régional agricultural développement. Agric. Syst.26, 211-230.
- Wit, J., J.K. Oldenbroek, H. van Keulen & D. Zwart, 1995. Criteria for sustainable livestock production : a proposal for implementation. Agriculture, Ecosystems and Environment n°53 : 219-229.
- World Resources Institute, 1990. A guide to the global environment. A report of the World Resources Institute in collaboration with UNEP and UNDP. Oxford University press. New York, 383 pp.
- World Bank, 1992. Annual Report 1992. World Bank, Washington.
- World Bank, 1994. Annual Report 1994. World Bank, Washington.
- WRI (World Resources Institute), 1990. World resources Institute. Oxford university Press, Oxford & New York.
- Yung, J.M., P.M. Bosc, & R. Tourte, 1992. Le développement agricole au Sahel, Tome IV, Défis, recherches et innovations au Sahel. Collections « Documents Systèmes Agraires » no. 17. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). 371 p.

Samenvatting

Een toekomst voor de Landbouw?

Technische opties en beleidsmaatregelen voor duurzame landbouwkundige ontwikkeling in Afrika ten Zuiden van de Sahara. Een studie voor de Cercle de Koutiala in het Zuiden van Mali.

Algemene situatie in de Sahellanden

De economische ontwikkeling van de Sahellanden in Afrika hangt nauw samen met de positie van de landbouw, die in het merendeel van de betrokken landen het grootste deel van het Bruto Nationaal Product (BNP) uitmaakt. De landbouw in de Sahellanden wordt gekenmerkt door een lage productiviteit (zowel in de akkerbouw als in de veeteelt), vooral als gevolg van lage bodemvruchtbaarheid (Penning de Vries & Djitéye, 1991; van Keulen & Breman, 1990). Deze lage productiviteit gaat samen met een hoge bevolkingsgroei, met als gevolg een toenemend verschil tussen de vraag naar en de productie van voedsel. Vergeleken met andere gebieden in de wereld vertoont dit deel van Afrika een achterblijvend groeipotentieel, als gevolg van klimatologische, agrotechnische, sociaal-economische en institutionele beperkingen. De directe oorzaken van de degradatie van de natuurlijke hulpbronnen (vooral van de bodem) zijn gelegen in het niet-aangepaste beheer, met name (volgens Oldeman *et al.*, 1991) met betrekking tot de nutriëntenbalansen die sterk negatief zijn (24% van de in cultuur zijnde gronden), overbeweiding (49% van de natuurlijke weiden) en overexploitatie van de houtvoorraden (27% van het beboste oppervlak). Vooral het 'uitmijnen' van de bodem is een belangrijke oorzaak van bodemdegradatie. Deze degradatie heeft ernstige negatieve gevolgen voor het productieniveau van de landbouw en voor de beschikbaarheid van cultuurgrond. Er wordt geschat dat die beschikbaarheid zal afnemen van de tegenwoordige waarde van 0,28 ha per hoofd van de bevolking tot 0,17 ha in 2025 (WRI, 1990) en 0,15 ha in 2050 (FAO, 1991).

De situatie in Mali

De algemene economische situatie in Mali wordt gekenmerkt door een BNP van ongeveer US\$ 270 per hoofd van de bevolking. De primaire sector is met 46% van het BNP de belangrijkste sector, en bestaat bijna geheel uit de akkerbouw en de veeteelt. (DNSI, 1992), Meer dan 80% van de actieve bevolking is werkzaam in de primaire sector, die 75% van de uitvoer produceert. De chemische armoede van de bodem en de degradatie van de natuurlijke hulpbronnen vormen de voornaamste beperkingen voor ontwikkeling van de landbouwsector. Voor Mali-sud, het zuidelijke deel van het land, zijn de kosten van het verlies aan voedingselementen uit de bodem (gerekend tegen kunstmestprijzen, op basis van vervangingswaarde) bijna de helft van het bruto-overschot (van de Pol, 1992). Dat betekent dus dat een belangrijk deel van de inkomsten van de landbouwhuishoudens zijn oorsprong vindt in uitputting van de bodem. Deze studie heeft betrekking op de 'Cercle de Koutiala' (vergelijkbaar met een (grote) Nederlandse gemeente, en verder aangeduid

met 'de regio') in Mali-sud. Dit bijna vlakke gebied met een oppervlakte van 9075 km² heeft een totale bevolking van 286 244 personen ofwel een bevolkingsdichtheid van ongeveer 31 per km² (BCR, 1991). Het gebied ligt aan de zuidelijke rand van de Soedano-Sahel zone van Mali, met een typisch Soedano-Sahel klimaat in het Noorden en een Soedan klimaat in het Zuiden. Het regenseizoen loopt van mei tot oktober, met een gemiddelde jaarlijkse neerslag van 980 mm (Sivakumar *et al.*, 1984). Er kunnen zes belangrijke bodemtypen worden onderscheiden, die worden gedomineerd (62%) door ondiepe steenachtige bodems die ongeschikt zijn voor akkerbouw.

Doelstelling en methodologie van het onderzoek

De specifieke doelstellingen van het onderzoek zijn: (1) definiëring van landbouwkundige productietechnieken, met een 'verschillende mate' van duurzaamheid, (2) definiëring en analyse van een duurzaam ontwikkelingsscenario, (3) verkenning van mogelijkheden en beperkingen voor toekomstig landgebruik in het kader van dat scenario, gebaseerd op optimaal beheer van de natuurlijke hulpbronnen in de regio, (4) analyse van de huidige situatie gekenmerkt door toepassing van niet-duurzame productietechnieken door verschillende typen huishoudens, (5) vergelijking van de huidige situatie met de resultaten van de scenariostudie en analyse van de verschillen in productiviteit, duurzaamheid en beheer van de hulpbronnen, (6) formulering van beleidsmaatregelen gericht op het scheppen van gunstige voorwaarden voor invoering van alternatieve duurzame productietechnieken door landbouwhuishoudens.

De onderzoeksmethodologie is gebaseerd op een systeemanalytische benadering met als instrumentarium bio-economische modellering op regionaal- (geaggregeerd) en huishoud- (micro-) niveau. De twee gebruikte typen modellen zijn het regionale model van de Koutiala regio en het model van de landbouwhuishoudens. De bij het modelleren gevolgde werkwijze en de structuur van de modellen worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3.

De resultaten van de scenariostudie op regionaal niveau, gebaseerd op intensieve duurzame gemengde landbouwproductiesystemen, worden behandeld in Hoofdstuk 4, uitmondend in een verkenning van de mogelijkheden voor een duurzame landbouwkundige ontwikkeling in de Cercle de Koutiala. De resultaten van het model van de landbouwhuishoudens, gebaseerd op gangbare niet-duurzame systemen, worden geanalyseerd in Hoofdstuk 5, met nadruk op de structuur van de productie (landgebruik), het niveau van de productie en de mate van duurzaamheid van de landgebruiksystemen voor verschillende typen huishoudens. De resultaten per type huishouden zijn geaggregeerd naar het regionale niveau op basis van het aantal bedrijven van ieder type in de Cercle de Koutiala, om een algemeen beeld te krijgen van de regio met betrekking tot landgebruik en opbrengstniveaus onder niet-duurzame condities. De beleidsmaatregelen gericht op het stimuleren van de landbouwkundige ontwikkeling en het verminderen van het verschil in landgebruik en productie tussen de gangbare, niet-duurzame situatie en de situatie beschreven in het duurzame ontwikkelingsscenario worden gedefinieerd en geanalyseerd in Hoofdstuk 6. Daarbij wordt vooral gekeken naar hun invloed op het gedrag van de huishoudens. Daarnaast is gekeken naar de invloed van enkele macro-economische maatregelen op de geaggregeerde graanproductie op regionaal niveau en het effect daarvan op het marktevenwicht en het prijsniveau.

Duurzame productiesystemen

In het onderzoek gaat het ten principale om de vraag: *hoe bewerkstelligen we een overgang van de huidige niet-duurzame landgebruikssystemen (gepaard gaande met uitputting van de bodem) naar de gewenste duurzame productiesystemen?* Allereerst is een scenario met betrekking tot een duurzame landbouwkundige ontwikkeling geformuleerd, gebaseerd op duurzame gemengde-productiesystemen, waarin akkerbouw, veeteelt en bosbouw sterk geïntegreerd zijn. In een dergelijk landgebruikstelsel is het concept van duurzaamheid in principe vertaald als 'evenwicht in de nutriëntenbalansen (N, P, K en organische stof)' om uitputting van de bodem te vermijden. Gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd om de effecten van niet-duurzaamheid op de resultaten van het model te onderzoeken. De voornaamste resultaten van deze analyse tonen aan dat onder niet-duurzame omstandigheden (toepassen van productietechnieken waarbij respectievelijk 25, 50 en 75% van de voor evenwicht noodzakelijke hoeveelheid kunstmest wordt toegevoerd), de opbrengstniveaus en het netto inkomen veel lager zijn dan wanneer alleen duurzame productietechnieken worden toegestaan. Met toenemende mate van niet-duurzaamheid nemen de totale productie en de productiviteit per eenheid oppervlak en per inwoner af, het bebouwde oppervlak neemt toe (extensivering) en het netto inkomen per eenheid oppervlak en per inwoner neemt af.

Onder omstandigheden van 'absolute' duurzaamheid (nutriëntenbalansen in evenwicht, scenario SP1) wordt een hoge landbouwproductie gevonden, zowel in de akkerbouw als in de veeteelt, met gebruikmaking van intensieve, duurzame productietechnieken, met een hoge productiviteit. Het netto inkomen is hoog, zowel per eenheid van oppervlak als per hoofd van de bevolking, ondanks hogere uitgaven voor externe inputs (met name kunstmest).

Niet-duurzame productiesystemen

De analyse van mogelijke ontwikkelingen op basis van het mede opnemen van niet-duurzame productietechnieken in de activiteitentabel van het huishoudmodel laat grote verschillen in productiviteit zien tussen verschillende typen huishoudens. Die typen zijn gedefinieerd op basis van toegang tot hulpbronnen en de mate van mechanisatie (dierlijke tractie). Die verschillen leiden tot verschillen in beheer van de natuurlijke hulpbronnen bij het maximaliseren van nut en van het netto inkomen. Het productieniveau ligt aanzienlijk hoger bij huishoudens van type A ('goed-bedeeld') dan bij die van typen B en C ('minder goed-bedeeld').

Vergelijking van de uitkomsten van scenario SB1 (actuele situatie) met die van SP1 (perspectief bij duurzaam landgebruik) laat aanzienlijke verschillen zien in verdeling van de hulpbronnen (landgebruik), niveau van duurzaamheid en productiviteit. Invoering van intensieve duurzame gemengde-productiesystemen vereist verkleining van die verschillen met een aantal consequenties voor de landbouwhuishoudens: landgebruik aangepast aan kwaliteit en geschiktheid van het land, integratie van bosbouw in de landgebruikssystemen, introductie van voedergrassen in de traditionele productiesystemen, supplementatie van het vee met voer van hoge kwaliteit en invoering van alternatieve duurzame productietechnieken. Dit leidt tot de conclusie dat beleidsmaatregelen nodig zijn om gunstige omstandigheden te scheppen voor het invoeren van duurzame alternatieve productietechnieken door landbouwhuishoudens.

Beleidsmaatregelen

Het huishoudmodel is gebruikt om de effecten van verschillende beleidsmaatregelen gericht op het stimuleren van het invoeren van duurzame productietechnieken door landbouwhuishoudens te analyseren. Daartoe zijn verschillende beleidsmaatregelen geformuleerd met het doel hun effect op het gedrag van landbouwhuishoudens te bestuderen. Die beleidsmaatregelen hebben betrekking op: prijzen van zowel producten als productiemiddelen, marktbevordering, krediet, beheer van natuurlijke hulpbronnen en intensivering van de landbouw.

De effecten van deze beleidsmaatregelen op het gedrag van landbouwhuishoudens maakte het mogelijk de maatregelen te groeperen in vier typen: (1) maatregelen die een sterk positief effect hebben op zowel het inkomen als op de duurzaamheid; (2) maatregelen die een gematigd positief effect hebben op zowel inkomen als duurzaamheid; (3) maatregelen die enerzijds een positief effect hebben op het inkomen, maar een negatief effect op duurzaamheid en (4) maatregelen die zowel met betrekking tot inkomen als duurzaamheid een negatief effect hebben op regionaal niveau. De indirecte effecten van deze laatste maatregelen kunnen echter wel van belang zijn, omdat ze leiden tot introductie van meer intensieve productietechnieken, zoals supplementatie van het vee en tot vermindering van de druk op de natuurlijke weiden en van de aantasting van de kwaliteit van het landelijk milieu.

Het blijkt dat in het algemeen in het model het gedrag van landbouwhuishoudens in gunstige zin wordt beïnvloed door beleidsmaatregelen, zodat een meer duurzame landbouwontwikkeling plaatsvindt, gekenmerkt door het invoeren van meer intensieve en meer duurzame productietechnieken. Echter, de verschillende typen huishoudens reageren verschillend op de beleidsmaatregelen. Het niveau van invoering van alternatieve technieken, uitgedrukt als het percentage van het areaal dat met deze technieken wordt bebouwd, varieert van 40% voor huishoudens van type A tot 20 en 11% voor typen B en C. Huishoudens van type A zijn dus meer receptief met betrekking tot het invoeren van nieuwe technologieën. Dat hangt samen met hun gunstiger situatie met betrekking tot de toegang tot hulpbronnen (land, arbeid) en de mate van mechanisatie, die een snelle invoering mogelijk maken. Daarnaast blijkt dat zelfs de huishoudens van type A nog een groot deel van het areaal bebouwen met niet-duurzame productietechnieken, hetgeen samenhangt met de rentabiliteit van de verschillende productietechnieken, uitgedrukt als kosten/baten verhouding. Beleidsmaatregelen die leiden tot verlaging van die verhouding stimuleren de invoering.

Op regionaal niveau zijn de beleidsmaatregelen beoordeeld naar hun invloed op de belangrijkste indicatoren of doelstellingen voor de ontwikkeling: de landbouwproductie per inwoner en per hectare, en het inkomen per hectare.

Ook hier blijkt dat de effectieve maatregelen leiden tot een aanzienlijke verhoging van de waarden van de indicatoren met een aanzienlijke mate van invoering van intensieve en duurzame productietechnieken. De minder effectieve en niet-effectieve maatregelen, gepaard gaand met een laag niveau van invoering, hebben ook nauwelijks effect op de waarde van de indicatoren. Op het regionale niveau induceren bepaalde macro-economische maatregelen schommelingen in de totale productie van basisbehoeften (zoals granen) die invloed hebben op de verhouding vraag/aanbod op de regionale markt en daarmee op de prijs.

De resultaten van de analyse met het huishoudmodel naar het gedrag van landbouwhuishoudens illustreren de bruikbaarheid van dergelijke modellen bij het formuleren en evalueren van macro-economische beleidsmaatregelen

Van niet-duurzaamheid naar 'absolute' duurzaamheid: wat zijn de mogelijkheden voor de landbouwpraktijk?

De analyse van de mogelijkheden voor een duurzame landbouwkundige ontwikkeling heeft aangetoond dat het intensieve, duurzame gemengde-productiesysteem een hoge productiviteit heeft, vooral als gevolg van de inzet van aanzienlijke hoeveelheden kunstmest. Men moet echter vaststellen dat invoering van een dergelijk systeem in de praktijk niet op korte termijn valt te realiseren als gevolg van een veelheid aan technische, sociaal-economische en institutionele beperkingen, vooral samenhangend met de beschikbaarheid en rentabiliteit van toediening van kunstmest.

Wat is er nodig om de huidige situatie te veranderen, of, met andere woorden, wat zijn de mogelijkheden voor de landbouwpraktijk om om te schakelen van niet-duurzaamheid naar 'absolute' duurzaamheid? Een duurzame landbouwkundige ontwikkeling vraagt noodzakelijkerwijs een verandering in de landbouwpraktijk door het invoeren van nieuwe, alternatieve, duurzame productietechnieken. De scenariostudies tonen aan dat via beleidsmaatregelen de mate van invoering kan worden verhoogd tot ongeveer 40%. De beste mogelijkheden voor verbetering op korte en middellange termijn liggen in het introduceren van vlinderbloemige voedergewassen die de bodemvruchtbaarheid verhogen. Daardoor zijn er minder kunstmeststoffen nodig, en de vlinderbloemigen kunnen dienen als veevoer van hoge kwaliteit. Vergelijking van de resultaten van het verkennende scenario met die van de verschillende beleidsscenario's leidt tot de conclusie dat de regionale beleidsmakers hun verwachtingen met betrekking tot duurzame landbouwkundige ontwikkeling niet te hoog moeten stellen, gezien het gedrag van de landbouwhuishoudens met betrekking tot de invoering van alternatieve technologieën. De landbouwhuishoudens lijken te streven naar een 'gemengd' systeem door combinatie van duurzame en minder-duurzame productietechnieken. Verschillende beleidsmaatregelen en institutionele veranderingen zijn noodzakelijk om de landbouwhuishoudens meer duurzame productietechnieken te laten invoeren. Het gaat daarbij om beleidsmaatregelen gericht op: verhoging van de rentabiliteit van het gebruik van kunstmest, bodemverbetering, verbetering van de regelingen rond eigendomsrechten van de grond, het verleggen van de verantwoordelijkheden naar (de) lokale bevolking(sgroepen) via decentralisatie, coördinatie van ontwikkelingsactiviteiten op regionaal niveau, stimulering van investeringen op het platteland, en stimulering van wetenschappelijk en technisch onderzoek gericht op duurzame landbouwkundige ontwikkeling.

De Cercle de Koutiala is zonder twijfel één van de gebieden in Mali met een groot landbouwkundig potentieel, zowel voor de productie van katoen (het belangrijkste handelsgewas) als voor de productie van voedselgewassen (granen). Deze productie mag echter niet ten koste gaan van de natuurlijke bodemvruchtbaarheid (het 'mijnen' van de bodem), omdat dat op middellange en lange termijn tot milieuproblemen zal leiden, waarvan de eerste tekenen al zichtbaar zijn in de 'katoenvlakte' van Koutiala. Om dat te vermijden dienen er beleidsmaatregelen te worden genomen door de betrokken beleidsmakers (zowel regionaal als nationaal) om de landbouwhuishoudens ertoe te brengen meer duurzame productietechnieken in te voeren. Op die manier kan de Cercle de Koutiala zijn belangrijke plaats blijven behouden binnen de landbouwsector van Mali.

Abstract

A future for Agriculture?

Technical options and policy measures for sustainable agricultural development in sub-saharan Africa. A case study for the Cercle de Koutiala in Southern Mali.

Global situation in Sub-Saharan countries

Economic development in the Sub-Saharan countries is strongly linked to the agricultural sector, which constitutes the major part of gross national product (GNP) in most of these countries. However, agricultural productivity and production in the area are very low due to erratic rainfall and especially the low level of soil fertility (Penning de Vries & Djitéye, 1991; van Keulen & Breman, 1990). Considered world-wide, it is one of the regions with the most unfavourable combination of low agricultural productivity and high population growth. The potential for economic development is limited, because of environmental, agro-technical, socio-economic and institutional constraints. Natural resource degradation is most directly linked to (Oldeman *et al.*, 1991): (1) practicing non-sustainable land use systems, particularly agricultural production techniques without application of mineral or organic fertilisers (24% of the crop land), (2) over-exploitation of pasture (49% of the area) and (3) of woody resources (27% of the woody land). The most important single cause of degradation is the depletion of soil nutrients, including organic matter. Land degradation has serious consequences for agricultural productivity and production, and the availability of arable land. It has been estimated that the availability of arable land will decrease from the current 0.28 ha per capita to 0.17 ha in 2025 (WRI, 1990) and 0.15 ha in 2050 (FAO 1991).

The situation in Mali

The economic situation in Mali is characterized by a low GNP per capita (around \$270 per annum). The primary sector is the most important one, contributing 46% to GNP, mainly from arable farming and livestock activities (DNSI, 1992). More than 80 % of the work force is employed in the agricultural sector, which generates around 75% of the export revenues.

Low soil fertility and degradation of natural resources are the most important constraints for agricultural development in Mali. For example, in Southern Mali, the value of the nutrients (at current fertilizer prices, based on replacement value) lost in traditional cropping systems has been estimated (van der Pol, 1992) at about half the value of the gross margin. Hence, a large part of farmers' income originates from soil depletion.

The study area is the 'Cercle de Koutiala' in Southern Mali, with a total area of 9075 km² and 286 244 inhabitants, *i.e.* a population density of about 31 per km² (BCR, 1991). The Cercle de Koutiala is located at the border of the Soudano-Sahelian zone with monomodal rainfall at an average of 980 mm/year (Sivakumar *et al.*, 1984). Six main types of soils have been distinguished, with shallow gravelly soils, not suitable for arable farming, occupying the largest area (62%).

Study objectives and methodology

The specific objectives of the study are: (1) definition of agricultural production techniques at different levels of sustainability; (2) formulation and analysis of a scenario for sustainable agricultural development in the Cercle de Koutiala; (3) exploration of the potentials and constraints for future land use in the Cercle de Koutiala, based on optimum natural resource management; (4) analysis of the actual situation, including non-sustainable production techniques at farm household level; (5) comparison between development options (in terms of production and land use) for situations with and without the possibilities for practicing non-sustainable production techniques; (6) identification of policy measures to stimulate adoption of sustainable agricultural production techniques at farm household level.

The research methodology is based on a systems-analysis approach, using linear programming at regional (aggregate) and farm (micro) level. Model structure and procedures are presented in Chapter 3. The different steps followed in the analysis of the results are: (1) a scenario based on sustainable intensive agricultural production techniques is analysed with a regional model in Chapter 4 to explore the agricultural development perspective for the Cercle de Koutiala; (2) results of the Farm Household Model, based on non-sustainable agricultural production techniques, are analysed in Chapter 5, with emphasis on the structure of production, (land use), the level of production and the degree of sustainability of the land use systems practiced by different household types; (3) results at farm level have been aggregated to the regional level on the basis of the total number of different types of farm households in the region for comparison with the development perspectives under sustainable conditions; (4) policy measures aiming at stimulating the adoption of sustainable technical options are defined, and their impact on farm household behaviour is analysed in Chapter 6; (5) the influence of some policy measures on aggregate production of cereals at the regional level is analysed as well as its effect on market and price equilibrium.

Sustainable production systems

The basic question in the present study is: *how to realise the transition from the current non-sustainable practices (associated with 'soil mining') to sustainable intensive cropping systems?* To answer that question, a sustainable agricultural development scenario has been defined, based on sustainable agricultural production techniques. For definition of those production techniques, sustainability has been operationalized as 'equilibrium of nutrient balances (including soil organic matter)' to avoid soil nutrient depletion. The resulting land use systems are characterized by strong integration of arable farming, animal husbandry and forestry. Sensitivity analyses have been carried out to analyse the effects of variation in 'level of sustainability' on the level of productivity of cropping systems. The scenario based on "absolutely (no soil nutrient depletion allowed)" sustainable intensive production techniques (SP1) results in the highest level of agricultural production and net revenue, despite higher expenditures on inputs, especially for chemical fertilizer. With increasing levels of soil nutrient depletion (application of 25, 50 and 75 % of the chemical fertilizer needed for equilibrium), productivity and net revenue decrease, the cultivated area increases (extensification), and net revenue per unit area and per capita decrease.

Non-sustainable production systems

The farm household model was applied to analyse the effects of the inclusion of non-sustainable production techniques on regional development. The results indicate large differences among farm household types in terms of agricultural productivity and farm management strategy. Farm household types were defined on the basis of access to resources and the degree of mechanisation (animal traction). When maximising net revenue and utility, the level of production and net revenue are appreciably higher for households of type A (well-endowed) than for those of types B and C (less endowed). Comparison of the results of the absolutely sustainable scenario (SP1) with those of scenario SB1 (actual situation) shows large differences in allocation of natural resources (land use), production and level of sustainability. Adoption of intensive, sustainable production techniques requires some major actions at farm household level: (1) efficient land resource management, *i.e.* land use adapted to land qualities and suitability, (2) integration of silviculture to satisfy wood requirements, (3) intensification of livestock systems through introduction of high-quality supplementary feed. This leads to the conclusion that complementary policy measures are indispensable to stimulate adoption of sustainable and intensive technical production techniques.

Policy measures

Policy measures have been identified and their impact on farm household behaviour has been analysed using a farm household model. The policy measures considered include: price policy, market development policy, credit policy, natural resources management policy, and agricultural intensification policy. The policy measures could be classified in four main types on the basis of their effects on net revenue and sustainability level: (1) policy measures having a strong positive effect on both net revenue and sustainability level; (2) policy measures having a moderately positive effect on net revenue and sustainability level; (3) policy measures having a moderately positive effect on net revenue and a negative effect on sustainability level; (4) policy measures having a negative effect on both net revenue and sustainability level.

Results indicate that several policy measures can have a strong effect on farm household behaviour. However, farm households vary strongly in their reactions to policy measures. Farm households of type A, for example, show an adoption rate of sustainable intensive production techniques of about 40% (expressed as the proportion of the area cultivated with these techniques) compared to 20% and 11% for types B and C, respectively. However, even when implementing the most effective policy measures, farm households generally combine non-sustainable and sustainable production techniques. The rate of adoption of sustainable intensive techniques strongly depends on their profitability. Hence, all policy measures that contribute to improved profitability of the alternative production techniques, by reducing their cost/benefit ratio, will stimulate increased rates of adoption at the farm household level. At the regional level, the most effective policy measures have a strong impact on development objectives through increasing the level of production and net revenue per ha and per capita. These policy measures also have a strong positive impact on the rate of adoption of sustainable and intensive production techniques at the farm household level. Some policy measures also induce changes in total production and hence in the demand/supply balance of cereals at the regional level. This may lead to price changes causing a new market equilibrium. The analyses of the effects of policy measures at farm household and regional level illustrate the potential role of such models in policy support in the macro-economic policy formulation process.

From non-sustainability to strong sustainability: what are the possibilities for on-farm practices?

The results from the regional model indicate that when sustainable intensive cropping systems are introduced, using high input levels, particularly of chemical fertilizers, high levels of production can be attained. However, such sustainable intensive systems cannot be adopted in the short term because of technical, socio-economic and institutional constraints. These constraints are mainly linked to availability of mineral fertilizers and profitability of their use.

Therefore, what is required to realize the transition from the current non-sustainable practices to strong or absolute sustainability? Sustainable agricultural development requires at least a change in farm household behaviour by adopting sustainable and intensive production techniques.

In the short and medium term, farm households can adapt by introducing improved, intensified forage production techniques (leguminous species), which will have a positive impact on soil fertility and livestock feed supply. For the long term, the results of the analysis of effects of policy measures have indicated that the rate of adoption of sustainable technologies can be increased through appropriate policy measures.

Thus, a set of policy measures is necessary to stimulate introduction of sustainable agriculture practices at the farm level such as: increasing profitability of the use of mineral fertilizers, land improvement, improved land tenure regulations, decentralization of the responsibilities for implementation of development measures, coordination of development activities at regional level, stimulation of investments in rural areas, and of scientific and technical research oriented towards sustainable agricultural development.

The Cercle de Koutiala is one of the regions in Mali with high agricultural potential, but agricultural production growth should not be realised on the basis of soil nutrient depletion, since that will trigger land degradation and environmental problems in the long term. Macro-economic policy measures are necessary to provide incentives to farm households to adopt sustainable and intensive production techniques. Only in that way will it be possible for the Cercle de Koutiala to maintain its important place in Mali's sustainable agricultural development process.

Annexes

Table des Matières Annexes

Liste des Abréviations	A1
Annexes du Chapitre 3	A2
A3.1. Formulation mathématique du modèle régional de Koutiala (MRK)	A2
A3.2. Formulation mathématique du modèle ménage-paysan (MMP)	A17
Annexes du Chapitre 4	A29
Annexes du Chapitre 5	A33
Annexe du Chapitre 6	A37
Au sujet de l'auteur	A38

Liste des Abréviations

Sigles	Significations
BNDA	Banque Nationale de Développement Agricole
CMDT	Compagnie Malienne de Développement des Textiles
CRRA	Centre Régional de Recherche Agronomique
DNSI	Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique
DRSPR	Division Recherche Systèmes de Production Rurale
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
IER	Institut d'Economie Rurale
KIT	Institut Royal des Tropiques
MMP	Modèle Ménage Paysan
MO	Matière Organique
MRK	Modèle Régional Koutiala
PAFOMA	Projet d'Appui à la Foresterie Malienne
PIB	Produit Intérieur Brut
PIRL	Projet Inventaire des Ressources Ligneuses
PIRT	Projet Inventaire des Ressources Terrestres
PLBM	Programmation Linéaire à Buts Multiples
PNB	Produit National Brut
SYCOV	Syndicat des producteurs de coton et de vivriers
UBT	Unité Bétail Tropical
WRI	World Resources Institute

Annexes du Chapitre 3

A3.1. Formulation mathématique du modèle régional de Koutiala (MRK)

Le modèle régional concernant le cercle de Koutiala est un modèle de programmation linéaire à buts multiples constitué de plusieurs groupes d'équations dont la spécification est donnée ci-dessous. A noter qu'une telle structure a été formulée en vue de simplifier et de rendre plus compréhensible la structure mathématique informatisée qui est utilisée pour effectuer les différentes simulations avec le logiciel XPRESS. Les définitions des indices, des variables et des coefficients présentées dans les formules mathématiques sont présentées dans les tableaux A 3.1.1, A3.1.2 et A3.1.3 à la fin du texte.

A3.1.1. Fonction-objectif

La fonction objectif (revenu net) a été estimée dans l'équation ci-dessus comme la différence entre le revenu brut total et le coût total de production pour une année de production. Le revenu brut total correspond à la somme de la valeur de la production principale des cultures (céréales, légumineuses, coton) et de celles de la viande, du lait et du bois. Le coût total de production correspond à la somme des coûts de production des cultures, sylviculture et élevage.

- **Revenu net total :**

correspond à la fonction objectif à maximiser. C'est la différence entre le revenu brut total et le coût total de production :

$$RN = RTOT - CTOT \quad (A3.1.1)$$

- **Revenu brut total :**

C'est la somme des revenus tirés de la production des cultures, de l'élevage et de la sylviculture :

$$RTOT = RBC + RBE + RBS \quad (A3.1.2)$$

- **Production agricole**

La quantité totale produite par culture est la somme des produits du rendement par la superficie pour chaque type de sol et pour chaque culture :

$$QC_c = \sum_s \sum_a y_{csa} \cdot SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } c \quad (A3.1.3)$$

La quantité totale produite par culture équivaut à la somme de la quantité vendue et de la quantité consommée :

$$QC_c = QCV_c + QCC_c \quad \text{pour tous } c \quad (A3.1.4)$$

La quantité consommée par culture correspond au produit entre la population totale et le besoin de consommation par tête et par an pour les produits consommables (céréales, légumineuses) :

$$QCC_c = bch_c \cdot POP \quad \text{pour tous } c \quad (A3.1.5)$$

Le revenu brut par culture correspond à la somme des valeurs des quantités produites par culture¹ :

$$RC_c = pc_c \cdot QC_c \quad \text{pour tous } c \quad (A3.1.6)$$

Le revenu brut total des cultures correspond à la somme des revenus bruts des culture²:

$$RBC = \sum_{c=1}^6 RC_c \quad (A3.1.7)$$

• Production animale

La quantité totale de viande produite est la somme des productions de viande des différentes activités d'élevage :

$$QVTOT = QVBOV + QVOV + QVCAP \quad (A3.1.8)$$

La production de viande bovine est la somme des productions issues de toutes les activités de production bovine (en troupeaux) : c'est-à-dire la production de viande par activité de troupeau bovine multipliée par le nombre total d'activités.

$$QVBOV = \sum_b qvb_b \cdot NBOV_b \quad (A3.1.9)$$

La production de viande issue de chacune des autres activités d'élevage (ovins, caprins) est estimée de manière similaire

$$QVOV = \sum_o qvo_o \cdot NOV_o \quad (A3.1.10)$$

$$QVCAP = \sum_g qvc_g \cdot NCAP_g \quad (A3.1.11)$$

La consommation totale de viande est le produit entre la population totale de la région et la quantité de viande consommée par tête et par an :

$$QVC = bvh \cdot POP \quad (A3.1.12)$$

La production totale de viande équivaut à la somme de la quantité vendue et de la quantité consommée:

$$QVTOT = QVC + QVV \quad (A3.1.13)$$

La quantité totale de lait produite est la somme des productions de lait des différentes activités d'élevage (troupeaux bovins, ovins, caprins) :

$$QLTOT = QLBOV + QLOV + QLCAP \quad (A3.1.14)$$

La production de lait des activités de troupeaux bovins est la somme des productions de lait issues de toutes les activités de production bovine (en troupeaux) : c'est-à-dire la production de lait par activité de troupeau bovine multipliée par le nombre total d'activités.

$$QLBOV = \sum_b qlb_b \cdot NBOV_b \quad (A3.1.15)$$

¹ Seules six cultures ont été considérées pour la production grainière (mil, sorgho, maïs, niébé, arachide, coton).

² Cette estimation de la production totale prend en compte les coûts de transaction (au niveau ménage-paysan).

La production de lait issue de chacune des autres activités d'élevage (ovins, caprins) est estimée de manière similaire

$$QLOV = \sum_o qlo_o \cdot NOV_o \quad (A3.1.16)$$

$$QLCAP = \sum_g qlc_g \cdot NCAP_g \quad (A3.1.17)$$

La consommation totale de lait est le produit entre la population totale de la région et la quantité de lait consommée par tête et par an :

$$QLC = blh \cdot POP \quad (A3.1.18)$$

La production totale de lait équivaut à la somme de la quantité vendue et de la quantité consommée :

$$QLTOT = QLC + QLV \quad (A3.1.19)$$

Le Revenu brut de l'élevage correspond à la somme des revenus bruts de la viande et du lait :

$$RBE = RBV + RBL \quad (A3.1.20)$$

Le revenu brut de la production de viande correspond à la valeur de la production totale de viande :

$$RBV = pv \cdot QVTOT \quad (A3.1.21)$$

Le revenu brut de la production de lait correspond à la valeur de la production totale de lait:

$$RBL = pl \cdot QLTOT \quad (A3.1.22)$$

- **Production sylvicole**

La production totale de bois de chauffe correspond à la somme des produits entre rendement en bois de chauffe et superficie par activité de sylviculture :

$$QBC = \sum_s \sum_v qbc_{sv} \cdot SUPV_{sv} \quad (A3.1.23)$$

La production totale de bois de service correspond à la somme des produits entre rendement en bois de service et superficie par activité de sylviculture :

$$QBS = \sum_s \sum_v qbs_{sv} \cdot SUPV_{sv} \quad (A3.1.24)$$

Le revenu brut de production de bois de chauffe correspond au produit entre le prix unitaire et la production de bois de chauffe :

$$RBBC = pbc \cdot QBC \quad (A3.1.25)$$

Le revenu brut de production de bois de service correspond au produit entre le prix unitaire et la production de bois de service :

$$RBBS = pbs \cdot QBS \quad (A3.1.26)$$

Le revenu brut de la sylviculture est la somme des valeurs respectives des productions totales de bois de chauffe et de bois de service :

$$RBS = RBBC + RBBS \quad (A3.1.27)$$

- **Coût total de production**

Il correspond à la somme des coûts de production des différentes activités (cultures, élevage, sylviculture) du taux d'intérêt sur le crédit:

$$CTOT = CCULTOT + CELEV + CSYLV + CCRED \quad (A3.1.28)$$

Le coût total de production des cultures correspond à la somme du coût des intrants monétaires des cultures, du coût d'achat des engrais, du coût total des activités de recyclage des résidus :

$$CCULTOT = CCULT + CENG + CENF + CTFU + CTFE + CTLIT \quad (A3.1.29)$$

Le coût total des intrants monétaires des cultures est la somme des produits entre coût d'intrant monétaire par unité de surface et superficie par activité de culture :

$$CCULT = \sum_c \sum_s \sum_a imc_{csa} \cdot SUPC_{csa} \quad (A3.1.30)$$

Le coût d'achat des engrais est la somme de la valeur de toutes les quantités de fertilisants externes appliquées type de fertilisant, et par substrat.

$$CENG = \sum_f \sum_s pf_f \cdot QENG_{sf} \quad (A3.1.31)$$

La quantité totale d'engrais appliquée est la somme des produits de la quantité appliquée par unité de surface par la superficie par activité de culture :

$$QENG_{sf} = \sum_s \sum_a \sum_c aeng_{csaf} \cdot SUPC_{csa} \quad (A3.1.32)$$

Le coût total des activités d'enfouissement est égal à la somme des produits entre intrant monétaire et quantité de fourrage enfouie par activité d'enfouissement :

$$CENF = \sum_i imi_i \cdot QENF_i \quad (A3.1.33)$$

Le coût total des activités de transport de fumier au champ est égal à la somme des produits entre intrant monétaire et quantité de fumier transporté par activité de transport de fumier au champ :

$$CTFU = \sum_u imu_u \cdot QTFU_u \quad (A3.1.34)$$

Le coût total des activités de transport de fourrage à la ferme est égal à la somme des produits entre intrant monétaire et quantité de fourrage par activité de transport de fourrage à la ferme :

$$CTFE = \sum_k imk_k \cdot QTFE_k \quad (A3.1.35)$$

Le coût total des activités de fabrication de litière est égal à la somme des produits entre intrant monétaire et quantité de fourrage par activité de fabrication de litière :

$$CTLIT = \sum_l iml_l \cdot QLIT_l \quad (A3.1.36)$$

Le coût total de production en élevage est la somme du coût des intrants monétaires des activités d'élevage (bovins, ovins, caprins, traction, achat suppléments) :

$$CELEV = CBOV + COV + CCAP + CTRA + CSUP \quad (A3.1.37)$$

Le coût total des activités de troupeaux bovins est la somme des produits entre intrant monétaire et nombre de bovins par activité bovine :

$$CBOV = \sum_b imb_b \cdot NBOV_b \quad (A3.1.38)$$

Le coût total pour les autres activités d'élevage (ovins, caprins, bœufs de labour) est défini de manière similaire :

$$COV = \sum_o imo_o \cdot NOV_o \quad (A3.1.39)$$

$$CCAP = \sum_g img_g \cdot NCAP_g \quad (A3.1.40)$$

$$CTRA = \sum_i imt_i \cdot NBL_i \quad (A3.1.41)$$

Le coût d'achat de supplément est la valeur de la quantité totale de supplément achetée :

$$CSUP = ps \cdot QSUP \quad (A3.1.42)$$

Le coût total de production sylvicole correspond au coût total des intrants monétaires des activités de sylviculture est la somme des produits entre coût d'intrant monétaire par unité de surface et la superficie par activité de sylviculture :

$$CSYLV = \sum_s \sum_v imv_{sv} \cdot SUPV_{sv} \quad (A3.1.43)$$

L'intérêt du crédit intrants : le besoin total en crédit intrants correspond à la somme du coût d'achat total des engrais et suppléments : Le coût du crédit c'est-à-dire son intérêt correspond à 10% du besoin total en crédit (en considérant l'hypothèse que le besoin en crédit pour l'achat d'intrants est satisfait à 100%).

A3.1.2. Ressources

- **Terres**

Restriction sur la ressource en terres : la ressource terre (aussi bien que les autres types de ressources) est soumise à la contrainte de disponibilité, c'est-à-dire que le besoin total en terres est inférieur ou égal à la disponibilité en terres dans la région :

$$BTTOT \leq DTTOT \quad (A31.44)$$

La disponibilité totale en terres est égale à la superficie totale disponible pour les activités de production dans la région.

Le besoin total en terres est égale à la somme des superficies allouées aux cultures, jachère, pâturages et foresterie (sylviculture) :

$$BTTOT = TCTOT + TJAC + TSYL + TPAT \quad (A3.1.45)$$

Le besoin total en terres pour chaque substrat³ est inférieur ou égal à la disponibilité totale en terres par substrat :

$$BTTOT_s \leq DTTOT_s \quad \text{pour tous } s \quad (A3.1.46)$$

Le besoin total en terres de culture est égale à la somme des besoins en terres pour toutes les cultures :

$$TCTOT = \sum_s \sum_c TCUL_{cs} \quad (A3.1.47)$$

Le besoin en terres pour une culture donnée pour chaque substrat est égal à la somme des superficies en terres pour toutes les activités de cette culture sur ce substrat :

³ Substrat désigne ici type de sol.

$$TCUL_{cs} = \sum_a SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } c, s \quad (A3.1.48)$$

Le besoin en terres pour la jachère pour chaque substrat est égal à la somme des besoins en terres pour toutes les activités de jachère sur ce substrat:

$$TJAC_s = \sum_j SUPJ_{sj} \quad \text{pour tous } s \quad (A3.1.49)$$

Le besoin total en terres de jachère est égal à la somme des besoins en jachère des substrats:

$$TJAC = \sum_s TJAC_s \quad (A3.1.50)$$

Le besoin en terres pour la sylviculture pour chaque substrat est égal à la somme des besoins en terres pour toutes les activités de sylviculture sur ce substrat:

$$TSYL_s = \sum_v SUPV_{sv} \quad \text{pour tous } s \quad (A3.1.51)$$

Le besoin total en terres de sylviculture est égal à la somme des besoins en terre de sylviculture des substrats:

$$TSYL = \sum_s TSYL_s \quad (A3.1.52)$$

Le besoin en terre de pâturages par substrat est égal à la somme des besoins en terres des activités de pâturage sur ce substrat:

$$TPAT_s = \sum_r SUPP_{sr} \quad \text{pour tous } s \quad (A3.1.53)$$

Le besoin total en terres de pâturages est égal à la somme des besoins en terre de pâturage des substrats:

$$TPAT = \sum_s TPAT_s \quad (A3.1.54)$$

L'exigence de la possibilité de rotation : la superficie allouée à la culture du coton pour chaque substrat est inférieure ou égale au tiers de la superficie totale cultivable (jachère + superficie cultivée) :

$$TCOT_s \leq \frac{1}{3} DTTOT_s \quad (A3.1.55)$$

- **Main-d'œuvre**

Restriction sur la disponibilité en (ressource) main-d'œuvre : la disponibilité totale en main-d'œuvre dans la région est le produit entre la population totale et la proportion en actifs de la population :

$$DMTOT = PACT(POP) \quad (A3.1.56)$$

Le besoin total en main-d'œuvre est inférieur ou égal à la disponibilité totale en main-d'œuvre dans la région :

$$BMTOT \leq DMTOT \quad (A3.1.57)$$

La même restriction a été appliquée pour une période donnée. C'est-à-dire que le besoin total en main-d'œuvre est inférieur ou égal à la disponibilité totale en main-d'œuvre dans chaque période (l'année a été divisée en 30 périodes) :

$$BMTOP_p \leq DMTOT_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.58)$$

La disponibilité totale en main-d'œuvre dans la région correspond à 55% de la population totale de la région (Une importation de main-d'œuvre extérieure à la région étant exclue dans les analyses du scénario de base SP1).

Le besoin total en main-d'œuvre est la somme des besoins en main-d'œuvre des activités de cultures, élevage, sylviculture et autres activités pour chaque période :

$$BMTOT_p = BMCUL_p + BMSYL_p + BME_p + BMA_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.59)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de culture est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et superficie pour chaque activité de culture et pour chaque période.

$$BMCUL_p = \sum_c \sum_s \sum_a bma_{csa} \cdot SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.60)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de sylviculture est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et superficie pour chaque activité de sylviculture et dans chaque période :

$$BMSYL_p = \sum_s \sum_v bmv_{sv} \cdot SUPV_{sv} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.61)$$

Le besoin en main-d'œuvre pour l'élevage est la somme des besoins en main-d'œuvre des troupeaux bovins, ovins, caprins, et des bœufs de labour :

$$BME_p = BMBOV_p + BMOV_p + BMCAP_p + BMTRA_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.62)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de troupeaux bovins est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et nombre de bovins pour chaque activité de troupeaux bovins et pour chaque période :

$$BMBOV_p = \sum_r \sum_b bmb_{pb} \cdot NBOV_{br} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.63)$$

Le besoin total en main-d'œuvre pour les autres activités d'élevage (ovins, caprins, bœufs de labour) est défini de manière similaire :

$$BMOV_p = \sum_r \sum_o bmo_{po} \cdot NOV_{or} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.64)$$

$$BMCAP_p = \sum_r \sum_c bmg_{pc} \cdot NCAP_{gr} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.65)$$

$$BMTRA_p = \sum_r \sum_t bmt_{pt} \cdot NBL_{tr} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.66)$$

Le besoin total en main-d'œuvre pour les autres activités est la somme des besoins en main-d'œuvre des activités de brûlage, d'enfouissement, de foinage au champ, de transport de fumier au champ, de transport de foinage à la ferme⁴, de fabrication de litière :

$$BMA_p = BMBRU_p + BMENF_p + BMFU_p + BMTFF_p + BMFC_p + BMLIT_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.67)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités de brûlage est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité de brûlage et le nombre d'activités de brûlage par période:

$$BMBRU_p = \sum_h bmh_{ph} \cdot NBRU_h \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.68)$$

⁴ Ferme désigne ici lieu de stockage.

Le besoin en main-d'œuvre des activités d'enfouissement est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité d'enfouissement et le nombre d'activités d'enfouissement par période:

$$BMENF_p = \sum_i bmi_{pi} \cdot NENF_i \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.69)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités de transport de fourrage à la ferme est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité de transport fourrage à la ferme et le nombre d'activités de transp. de fourrage par période:

$$BMTFF_p = \sum_k bmk_{pk} \cdot NTFF_k \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.70)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités d'exploitation des fourrages au champ est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité fourragère au champ et le nombre d'activités de fourr. au champ par période:

$$BMFC_p = \sum_m bmm_{pm} \cdot NFC_m \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.71)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités de fabrication de litière pour chaque période est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité de transport de fabrication de litière et le nombre d'activités de litière par période:

$$BMLIT_p = \sum_l bml_{pl} \cdot NLIT_l \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.72)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités de transport de fumier pour chaque période est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité de transport de fumier et le nombre d'activités de transport de fumier par période:

$$BMFU_p = \sum_u bmu_{pu} \cdot NFU_u \quad \text{pour tous } p \quad (A3.1.73)$$

A3.1.3. Condition de durabilité

- **Disponibilité en fertilisants venant des différentes sources internes au système**

La disponibilité en fertilisants générée dans le système par substrat pour chaque type fertilisant est la somme des production de fertilisants venant des activités de brûlage, d'enfouissement, de jachère, d'activités fourragères au champ, et de l'apport de matière organique provenant des activités de transport de fumier :

$$DFER_{sf} = FBRU_{sf} + FENF_{sf} + FJAC_{sf} + FFC_{sf} + FFU_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.74)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités de brûlage est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par tonne de résidus brûlés et la quantité de résidus brûlée par activité de brûlage :

$$FBRU_{sf} = \sum_h fh_{shf} \cdot QBRU_{sh} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.75)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités d'enfouissement est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par unité de résidus enfouies et la quantité de résidus enfouie par activité d'enfouissement :

$$FENF_{sf} = \sum_i fi_{sif} \cdot QENF_{si} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.76)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités d'exploitation des fourrages au champ est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par unité de résidus exploités et la quantité de résidus exploitée au champ par activité d'exploitation de fourrage au champ :

$$FFC_{sf} = \sum_m f m_{smf} \cdot QFC_{sm} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.77)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités de jachère est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par unité de surface mise en jachère et la superficie par activité de jachère :

$$FJAC_{sf} = \sum_j f j_{sjf} \cdot SUPJ_{sj} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.78)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités de transport de fumier au champ est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par unité de fumier transporté et la quantité de fumier transporté par activité de transport de fumier :

$$FFU_{sf} = \sum_u f u_{suf} \cdot QFU_{su} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.79)$$

- **Disponibilité totale en fertilisants**

La disponibilité totale pour chaque type de fertilisant est la somme entre la disponibilité interne en fertilisants et la quantité de fertilisants venant de l'apport d'engrais sur les activités de cultures :

$$DFERTOT_f = \sum_s DFER_{sf} + \sum_s QENG_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.80)$$

- **Besoins en fertilisants**

Le besoin total pour chaque type de fertilisant est la somme des besoins par substrat et par fertilisant

$$BFERTOT_f = \sum_s BFER_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.81)$$

Le besoin en fertilisants par substrat et par fertilisant est la somme des quantités totales de fertilisants appliquées sur les activités de culture et celles de sylviculture, par substrat et par fertilisant :

$$BFER_{sf} = \sum_c FCUL_{csf} + \sum_v FSYL_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.82)$$

La quantité totale de fertilisants appliquées sur les activités de cultures est la somme des produits entre la quantité de fertilisant appliquée par unité de surface et la superficie par activité de culture :

$$FCUL_{csf} = \sum_a f a_{csaf} \cdot SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.83)$$

La quantité totale de fertilisants appliquées sur les activités de sylvicultures est la somme des produits entre la quantité de fertilisant appliquée par unité de surface et la superficie par activité de sylviculture :

$$FSYL_{sf} = \sum_v f_{v_{sf}} \cdot SUPV_{sv} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.1.84)$$

- **L'exigence de durabilité absolue**

Elle est exprimée par le fait que le besoin total en fertilisants est inférieur ou égal à la disponibilité de fertilisants générée dans le système, plus l'apport de fertilisants venant de l'apport externe en fertilisants. Dans le cas de la durabilité absolue, cet apport est maximal et suffisant sert à équilibrer le bilan des éléments nutritifs pour éviter l'épuisement du sol ($EP_{sf} = 0$). Dans le cas où cet apport est insuffisant⁵, il y a épuisement du sol (conditions de durabilité II, III, et IV, Sous-section 4.5.2)

$$BFER_{sf} \leq \sum_{sf} DFER_{sf} + \sum_{sf} QENG_{sf} + \sum_{sf} EP_{sf} \quad (A3.1.85)$$

⁵ Les éléments de cette équation sont aussi abordés dans la définition du concept de durabilité dans la Section 4.5.1

Tableau A3.1.1. Les indices dans MRK.

indice	description	spécification des composantes
a	activités de cultures	n = 788
v	activités de sylviculture	n = 8
r	activités de pâturage	n = 36
j	activités de jachère	n = 7
b	activités de troupeaux bovins	n = 12
o	activités de troupeaux ovins	n = 12
g	activités de troupeaux caprins	n = 12
t	activités de traction	n = 2
h	activités de brûlage	n = 96
i	activités d'enfouissement	n = 112
k	activités de transport des résidus à la ferme	n = 304
l	activités de fabrication de litière	n = 20
m	activités d'exploitation de fourrage au champ	n = 224
n	activités d'utilisation des fourrages à la ferme	n = 56
u	activités de transport de fumier au champ	n = 12
p	période	n = 30 (l'année a été divisée en 30 périodes pour l'utilisation de la main-d'œuvre)
c	cultures	n = 10 mil = 1, sorgho = 2, maïs = 3, niébé = 4, arachide = 5, Andropogon = 6, Andropogon repousses = 7, Stylosanthes = 8, niébé fourrager = 9, coton = 10
f	fertilisants	n = 4 MO (matière organique) = 1, N (azote) = 2, P (phosphore) = 3, K (potasse) = 4
s	substrats	n = 6 EC (sols d'écoulement) = 1 GR (gravillonnaires) = 2 GR-su (gravillonnaires superficiels) = 3 LIAR (limon-argileux) = 4 LIMO (limoneux) = 5 LISA-f (limon-sableux fins) = 6

Tableau A3.1.2. Les variables dans MRK.

Variable	Description	Unité	Section
<i>RN</i>	revenu net	F CFA	4.6.7
<i>RTOT</i>	revenu brut total	F CFA	4.6.7
<i>SUPC_{csr}</i>	superficie par activité de culture et par substrat	ha	4.6.1
<i>SUPV_{sv}</i>	superficie par activité de sylviculture et par substrat	ha	4.6.1
<i>SUPJ_{sj}</i>	superficie par activité de jachère et par substrat	ha	4.6.1
<i>SUPP_{sr}</i>	superficie par activité de pâturage et par substrat	ha	4.6.1
<i>QC_c</i>	quantité produite par culture	tonnes	4.6.3
<i>QCV_c</i>	quantité vendue par culture	tonnes	
<i>QCC_c</i>	quantité consommée par culture	tonnes	
<i>POP</i>	population totale de la région	habitants	
<i>Rc_c</i>	revenu brut par culture	F CFA	4.6.7
<i>RBC</i>	revenu brut total des cultures	F CFA	
<i>QVTOT</i>	production totale de viande	tonnes	4.6.4
<i>QYBOV</i>	production de viande des troupeaux bovins	tonnes	
<i>QVOV</i>	production de viande des troupeaux ovins	tonnes	
<i>QVCAP</i>	production de viande des troupeaux caprins	tonnes	
<i>NBOV_b</i>	nombre de bovins par activité de troupeaux bovins	UBT	
<i>NOV_o</i>	nombre d'ovins par activité de troupeaux ovins	UBT	
<i>NCAP_g</i>	nombre de caprins par activité de troupeaux caprins	UBT	
<i>NBL_l</i>	nombre de bœufs de labour par activité de traction	anm	
<i>QVC</i>	quantité de viande consommée	tonnes	
<i>QVV</i>	quantité de viande vendue	tonnes	
<i>QLTOT</i>	production totale de lait	tonnes	4.6.4
<i>QLBOV</i>	production de lait des troupeaux bovins	tonnes	
<i>QLOV</i>	production de lait des troupeaux ovins	tonnes	
<i>QLCAP</i>	production de lait des troupeaux caprins	tonnes	
<i>QLC</i>	quantité de lait consommée	tonnes	
<i>QLV</i>	quantité de lait vendue	tonnes	
<i>RBE</i>	revenu brut de l'élevage	F CFA	4.6.7
<i>RBV</i>	revenu brut production de viande	F CFA	
<i>RBL</i>	revenu brut production de lait	F CFA	
<i>QBC</i>	production totale de bois de chauffe	m ³	4.6.5
<i>QBS</i>	production totale de bois de service	m ³	
<i>RBS</i>	revenu brut de sylviculture	F CFA	4.6.7
<i>RBBC</i>	revenu brut production de bois de chauffe	F CFA	
<i>RBBS</i>	revenu brut production de bois de service	F CFA	
<i>CTOT</i>	coût total de production	F CFA	4.6.7
<i>CCULTOT</i>	coût total de production des cultures	F CFA	4.6.7
<i>CCULT</i>	coût de production des activités de cultures	F CFA	
<i>CENG</i>	coût total d'achat des engrais	F CFA	
<i>CENF</i>	coût total des activités d'enfouissement	F CFA	
<i>CTFU</i>	coût total des activités de transport de fumier	F CFA	
<i>CTFF</i>	coût total des activités de transport de fourrage à la ferme	F CFA	
<i>CTLIT</i>	coût total des activités de fabrication de litière	F CFA	

Tableau A3.1.2 (suite 1). Les variables dans MRK

Variable	Description	Unités	Section	
<i>QENG_{sf}</i>	quantité de fertilis. externes apportée par substrat et par type de fert	tonnes	4.6.3/4.7	
<i>QBRU_h</i>	quantité de résidus brûlée par activité de brûlage	tonnes		
<i>QENF_i</i>	quantité de résidus enfouie par activité d'enfouissement	tonnes	4.6.3/4.7	
<i>QTLIT_l</i>	quantité de fourrage utilisée par activité de litière	tonnes		
<i>QTFU_h</i>	quantité de fumier transportée par activité de transp. de fumier	tonnes		
<i>QTFE_k</i>	quantité de fourrage transportée à la ferme par activ. de trans.	tonnes		
<i>QTFC_m</i>	quantité de fourrage exploitée au champ par activ. four. au ch.	tonnes		
<i>QENG_{sf}</i>	quantité de fertil. externe apportée par substrat et par type de fertilis.	tonnes		
<i>QBRU_{sh}</i>	quantité de résidus brûlée par activité de brûlage et par substrat	tonnes		
<i>QENF_{si}</i>	quantité de résidus enfouie par activité d'enfouis. et par substrat	tonnes		
<i>QTLIT_{sl}</i>	quantité de fourrage utilisée par activité de litière et par substrat	tonnes		
<i>QTFU_{su}</i>	quantité de fumier transp. par activité de transp. de fumier et par sub.	tonnes		
<i>QTFE_{sk}</i>	quantité de fourrage transp. à la ferme par activ. de trans. et par sub.	tonnes		
<i>QTFC_{sm}</i>	quantité de four. exploitée au champ par activ. four. au ch. et par sub.	tonnes		
<i>CELEV</i>	coût total de production des activités d'élevage	F CFA	4.6.7	
<i>COV</i>	coût total de production des activités de troupeaux bovins	F CFA		
<i>COB</i>	coût total de production des activités de troupeaux ovins	F CFA		
<i>CCAP</i>	coût total de production des activités de troupeaux caprins	F CFA		
<i>CTRA</i>	coût total de production des activités de traction	F CFA		
<i>CSUP</i>	coût total d'achat de suppléments	F CFA		
<i>QSUP</i>	quantité de supplément (tourteau) achetée	tonnes		
<i>CSYL</i>	coût de production des activités de sylviculture	F CFA		4.6.7
<i>CCRED</i>	intérêt du crédit intrant	F CFA		
<i>DTOT</i>	disponibilité totale en terres	ha		4.6.1
<i>BTOT</i>	besoin total en terres	ha		
<i>DTOT_s</i>	disponibilité en terres par substrat	ha	4.6.6	
<i>BTOT_s</i>	besoin en terres par substrat	ha		
<i>TCUL_{cs}</i>	superficie cultivée par substrat	ha		
<i>TCTOT</i>	superficie totale cultivée	ha		
<i>TJAC_s</i>	superficie mise en jachère par substrat	ha		
<i>TJAC</i>	superficie totale mise en jachère	ha		
<i>TSYL_s</i>	superficie de sylviculture par substrat	ha		
<i>TSYL</i>	superficie totale de sylviculture	ha		
<i>TPAT_s</i>	superficie de pâturages par substrat	ha		
<i>TPAT</i>	superficie totale de pâturages	ha		
<i>TCOT_s</i>	superficie cultivée en coton	ha		
<i>DMTOT</i>	disponibilité totale en main-d'œuvre	homme.j		
<i>PACT</i>	proportion d'actifs dans la population totale	homme.j		
<i>BMTOT</i>	besoin total en main-d'œuvre	homme.j		
<i>DMTOT_p</i>	disponibilité totale en main-d'œuvre par période	homme.j		
<i>BMTOT_p</i>	disponibilité totale en main-d'œuvre par période	homme.j		
<i>BMCUL_p</i>	besoin total en main-d'œuvre des activités de cultures par p	homme.j		
<i>BMSYL_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de sylviculture par p	homme.j		
<i>BME_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités d'élevage par période	homme.j		4.6.6
<i>BMBOV_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de troupeaux bovins par p	homme.j		
<i>BMOV_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de troupeaux ovins par p	homme.j		
<i>BMCAP_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de troupeaux caprins par p	homme.j		
<i>BMEMB_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités d'embouche par p	homme.j		
<i>BMTRA_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de traction par période	homme.j		
<i>BMA_p</i>	besoin en main-d'œuvre des autres activités par période	homme.j		
<i>BMBRU_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de brûlage par période	homme.j		
<i>BMENF_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités d'enfouissement par p	homme.j		
<i>BMFF_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activ. transp. de four. à la ferme par p	homme.j		
<i>BMFC_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités fourr. au champ par p	homme.j		
<i>BMLIT_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activit. de fabrication de litière par p	homme.j		
<i>BMFF_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités fourr. à la ferme par p	homme.j		
<i>BMFU_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activ. transp. de fumier au champ par p	homme.j		

Tableau A3.1.2 (suite 3). Les variables dans MRK.

Variable	Description	Unité
$NENF_i$	nombre d'activités de transport de fumier	
$NBRU_h$	nombre d'activités de transport de fumier	
$NFFF_k$	nombre d'activités de transport de fumier	
NFC_m	nombre d'activités de transport de fumier	
$NLIT_i$	nombre d'activités de transport de fumier	
NFU_u	nombre d'activités de transport de fumier	
$DFERTOT$	disponibilité totale en fertilisants	t
$DFER_{sf}$	disponibilité en fertilisants par substrat et par fertilisants	tonnes
$FBRU_{sf}$	quantité de fertilisants venant des activités de brûlage	tonnes
$FENF_{sf}$	quantité de fertilisants venant des activités d'enfouissement	tonnes
$FJAC_{sf}$	quantité de fertilisants venant des activités de jachère	tonnes
FFC_{sf}	quantité de fertilisants venant des activités four. au champ	tonnes
FFU_{sf}	quantité de fertilisants venant des activ. de transport de fumier	tonnes
$BFERTOT_f$	besoin total en fertilisants	tonnes
$BFER_{sf}$	besoin en fertilisants par substrat et par fertilisants	tonnes
$FCUL_{csf}$	quantité totale de fertilisants appliquée sur les act. de cultures	tonnes
$FSYL_{sf}$	quantité totale de fertilisants appliquée sur les act. de sylvicult. quan-	tonnes
EP_{sf}	tité totale épuisée par type de fertilisants et par substrat	tonnes

Tableau A3.1.3. Les coefficients dans MRK.

Coefficients	Descriptions	Unités
Y_{csa}	rendement par activité de culture, par substrat	$t\ ha^{-1}$
qvb_b	rendement en viande par activité de troupeaux bovins	$t\ UBT^{-1}$
qvo_o	rendement en viande par activité de troupeaux ovins	$t\ UBT^{-1}$
qvc_g	rendement en viande par activité de troupeaux caprins	$t\ UBT^{-1}$
qve_e	rendement en viande par activité d'embouche	$t\ anm^{-1}$
qvt_t	rendement en viande par activité de traction	$t\ anm^{-1}$
qlb_b	rendement en lait par activité de troupeaux bovins	$t\ UBT^{-1}$
qlo_o	rendement en lait par activité de troupeaux ovins	$t\ UBT^{-1}$
qlc_g	rendement en lait par activité de troupeaux caprins	$t\ UBT^{-1}$
qbc_{sv}	rendement en bois de chauffe par substrat et par activité de sylviculture	$m^3\ ha^{-1}$
qbs_{sv}	rendement en bois de service par substrat et par activité de sylviculture	$m^3\ ha^{-1}$
bch_c	besoin de consommation par culture par habitant et par an	$kg\ hbt^{-1}\ an^{-1}$
bvh	besoin de consommation en viande par habitant et par an	$kg\ hbt^{-1}\ an^{-1}$
blh	besoin de consommation en lait par habitant et par an	$kg\ hbt^{-1}\ an^{-1}$
pc_c	prix du produit principal par culture	$F\ CFA\ t^{-1}$
pv	prix de la viande	$F\ CFA\ t^{-1}$
pl	prix du lait	$F\ CFA\ t^{-1}$
pb_c	prix du bois de chauffe	$F\ CFA\ t^{-1}$
pb_s	prix du bois de service	$F\ CFA\ t^{-1}$
pf_f	prix par fertilisant	$F\ CFA\ t^{-1}$
ps	Prix du supplément	$F\ CFA\ t^{-1}$
imc_{csa}	intrant monétaire par activité de culture, par substrat	$F\ CFA\ ha^{-1}$
imv_{sv}	intrant monétaire par activité de sylviculture, par substrat	$F\ CFA\ ha^{-1}$
imb_b	intrant monétaire par activité de troupeaux bovins	$F\ CFA\ UBT^{-1}$
imo_o	intrant monétaire par activité de troupeaux ovins	$F\ CFA\ UBT^{-1}$
img_g	intrant monétaire par activité de troupeaux caprins	$F\ CFA\ UBT^{-1}$
imt_t	intrant monétaire par activité de traction	$F\ CFA\ anm^{-1}$
imi_i	intrant monétaire par activité d'enfouissement	$F\ CFA\ t^{-1}$
imk_k	intrant monét./activité de transport de fourr. à la ferme	$F\ CFA\ t^{-1}$
imu_u	intrant monétaire par activité de transport de fumier	$F\ CFA\ t^{-1}$
iml_l	intrant monétaire par activité de fabrication de litière	$F\ CFA\ t^{-1}$
$qfep_{sf}$	quantité épuisée par fertilisant et par substrat	$t\ ha^{-1}$
aen_{csaf}	quantité d'engrais appliquée par hectare par type de fertilisants	$t\ ha^{-1}$
bma_{csa}	besoin en main-d'œuvre par activité de culture et par période	homme ha^{-1}
bm_{sv}	besoin en main-d'œuvre par activité de sylviculture et par période	homme ha^{-1}
bm_b	besoin en main-d'œuvre par activité de troupeaux bovins et par période	homme UBT^{-1}
bmo_{po}	besoin en main-d'œuvre par activité de troupeaux ovins et par période	homme UBT^{-1}
bm_g	besoin en main-d'œuvre par activité de troupeaux caprins et par période	homme UBT^{-1}
bmt_{pt}	besoin en main-d'œuvre par activité de traction et par période	homme anm^{-1}
bml_{ph}	besoin en main-d'œuvre par activité de brûlage et par période	homme t^{-1}
bmi_{pi}	besoin en main-d'œuvre par activité d'enfouissement et par période (p)	homme t^{-1}
bm_k	besoin en main-d'œuvre par activité de transport de fourr. à la ferme et par p	homme t^{-1}
bml_{pl}	besoin en main-d'œuvre par activité de litière et par p	homme t^{-1}
bmm_{pm}	besoin en main-d'œuvre par activ. d'exploitation de fourrage au champ et par p	homme t^{-1}
bm_u	besoin en main-d'œuvre par activité de transport de fumier et par p	homme t^{-1}
fh_{shf}	rendement en fertilisants de la quantité de résidus brûlés/act. de brûlage	$t\ t^{-1}$
f_{iif}	rend. en fert. de la quantité de résidus enfouie/activité d'enfouissement	$t\ t^{-1}$
fm_{smf}	rend. en fert. de la quant. de four. exploitée par act. four. au champ	$t\ t^{-1}$
fu_{suf}	rend. en fert. de la quant. de fumier transportée par act. transport fumier	$t\ t^{-1}$
f_{jef}	rendement en fertilisants par activité de jachère	$t\ ha^{-1}$
fa_{csaf}	quantité de fertilisants appliquée par activité de culture	$t\ ha^{-1}$
fv_{svf}	quantité de fertilisants appliquée par activité de sylviculture	$t\ ha^{-1}$

A3.2. Formulation mathématique du modèle ménage-paysan (MMP)

Le modèle ménage-paysan est constitué de plusieurs groupes d'équations dont la spécification est donnée ci-dessous. A noter qu'une telle structure a été formulée en vue de simplifier et de rendre plus compréhensible la structure mathématique informatisée qui est utilisée pour effectuer les différentes simulations avec le logiciel GAMS. Les définitions des indices, des variables et des coefficients présentées dans les formules mathématiques sont présentées dans les tableaux A3.2.1, A3.2.2 et A3.2.3 à la fin du texte.

A3.2.1. Fonction objectif

Dans le processus d'optimisation avec le modèle ménage-paysan, la fonction objectif a été exprimée selon une corrélation entre l'utilité de consommation (UCO) et le revenu corrigé (RCOR), sur la base d'un facteur de normalisation (γ) :

$$Z = UCO + \gamma RCOR \quad (A3.2.1)$$

Selon la théorie sur la fonction d'utilité de consommation (Deaton, 1992): "la consommation du ménage-paysan relève d'une prise de décision faisant la part entre la consommation actuelle et la consommation future". L'utilité de consommation actuelle (au temps $t=0$) correspond à UCO. la part du budget retenu pour les dépenses futures peut être investi dans l'agriculture et l'élevage pour maintenir la capacité de production des sols et des pâturages, pour réduire leur dégradation. L'effet de cet investissement est assimilé dans le concept de revenu corrigé dans lequel on valorise le changement dans l'état du sol à travers l'épuisement.

$$Z = \mathcal{U}(C_{t=0}) + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} \mathcal{U}(c_t) \quad (A3.2.2)$$

La première partie de cette équation correspond ainsi à la fonction d'utilité de consommation actuelle (UCO) et la deuxième partie correspond au budget d'investissement futur (RCOR) multiplié par un facteur de normalisation γ .

Le revenu net corrigé correspond à la différence entre le revenu net et le coût d'opportunité du bilan de la matière organique. Il correspond au vecteur de reproduction des ressources naturelles au niveau ménage-paysan.

$$RCOR = RN - co.BMO \quad (A3.2.3)$$

Le facteur de normalisation et de mesures du poids des objectifs (γ) correspond au vecteur qui permet d'harmoniser les unités entre le revenu corrigé (en F CFA) et l'utilité de consommation (exprimée en quantité), et de tenir compte du poids des deux objectifs (revenu net corrigé et utilité de consommation). C'est donc le produit entre le rapport des poids des objectifs (ω_1 et ω_2) et le rapport des facteurs de normalisation (FNuco et FNrcor):

$$\gamma = \frac{\omega_2 \cdot FNuco}{\omega_1 \cdot FNrcor} \quad (A3.2.4)$$

Le facteur de normalisation de l'utilisation de consommation (FNuco) équivaut à sa valeur maximale individuelle UCOMAX. Et le facteur de normalisation du revenu corrigé

(FNrcor) équivaut à sa valeur maximale individuelle RCORMAX. Sur la base de ces considérations, l'équation de maximisation de la fonction objectif est formulée comme suit:

$$\max Z = \frac{\omega 1}{FNuco} \cdot UCO + \frac{\omega 2}{FNrcor} \cdot RCOR \quad (A3.2.5)$$

$$\max Z = \frac{\omega 1}{UCOMAX} \cdot UCO + \frac{\omega 2}{RCORMAX} \cdot RCOR \quad (A3.2.6)$$

- **Le revenu net**

Il correspond à la différence entre le revenu brut total et le coût total de production:

$$RN = RTOT - CTOT \quad (A3.2.7)$$

- **Le revenu brut total**

C'est la somme du revenu brut des cultures, du revenu brut de l'élevage, du revenu de la main-d'œuvre familiale ayant travaillé hors-ferme:

$$RTOT = RBC + RE + RMFS \quad (A3.2.8)$$

- **La production agricole**

La quantité totale produite par culture est la somme des produits du rendement par la superficie pour chaque substrat et pour chaque culture:

$$QC_c = \sum_s \sum_a y_{csa} \cdot SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } c \quad (A3.2.9)$$

La quantité totale produite par culture équivaut à la somme de la quantité vendue et de la quantité consommée:

$$QC_c = QCV_c + QCC_c \quad \text{pour tous } c \quad (A3.2.10)$$

La quantité consommée par culture est estimée par le modèle à travers la fonction d'utilité de consommation. La quantité vendue par culture correspond à l'excédent ou surplus de production.

Le revenu brut par culture correspond à la valeur de la production totale par culture⁶:

$$RC_c = (pc_c - t \text{ cost}_c) QC_c \quad \text{pour tous } c \quad (A3.2.11)$$

Le revenu brut total des cultures correspond à la somme des revenus brutes des culture⁷:

$$RBC = \sum_{c=1}^6 RC_c \quad (A3.2.12)$$

- **La production animale**

La quantité totale de viande produite est la somme des productions de viande des différentes activités d'élevage.

$$QVTOT = QVBOV + QVOV + QVCAP \quad (A3.2.13)$$

⁶ Cette estimation de la production totale prend en compte les coûts de transaction (au niveau ménage-paysan).

⁷ Cette estimation de la production totale prend en compte les coûts de transaction (au niveau ménage-paysan).

la production de viande bovine est la somme des productions issues de toutes les activités de production bovine (en troupeaux) : c'est-à-dire la production de viande par activité de troupeau bovine multipliée par le nombre total d'activités.

$$QVBOV = \sum_b qvb_b \cdot NBOV_b \quad (A3.2.14)$$

La production de viande issue de chacune des autres activités d'élevage (ovins, caprins, réforme bœufs de labour) est estimée de manière similaire

$$QVOV = \sum_o qvo_o \cdot NOV_o \quad (A3.2.15)$$

$$QVCAP = \sum_g qvc_g \cdot NCAP_g \quad (A3.2.16)$$

La production totale de viande équivaut à la somme de la quantité vendue et de la quantité consommée:

$$QVTOT = QVC + QVV \quad (A3.2.17)$$

La quantité de viande consommée est estimée par le modèle à travers la fonction d'utilité de consommation. La quantité de viande vendue correspond à l'excédent ou surplus de production.

La production totale de lait produite est la somme des productions de lait des différentes activités d'élevage (troupeaux bovins, ovins, caprins):

$$QLTOT = QLBOV + QLOV + QLCAP \quad (A3.2.18)$$

La production de lait des activités de troupeaux bovins est la somme des productions de lait issues de toutes les activités de production bovine (en troupeaux): c'est-à-dire la production de lait par activité de troupeau bovine multipliée par le nombre total d'activités.

$$QLBOV = \sum_b qlb_b \cdot NBOV_b \quad (A3.2.19)$$

La production de lait issue de chacune des autres activités d'élevage (ovins, caprins) est estimée de manière similaire

$$QLOV = \sum_o qlo_o \cdot NOV_o \quad (A3.2.20)$$

$$QLCAP = \sum_g qlc_g \cdot NCAP_g \quad (A3.2.21)$$

La production totale de lait équivaut à la somme de la quantité vendue et de la quantité consommée:

$$QLTOT = QLC + QLV \quad (A3.2.22)$$

La quantité de lait consommée est estimée par le modèle à travers la fonction d'utilité de consommation. La quantité de lait vendue correspond à l'excédent ou surplus de production.

Le revenu brut de l'élevage correspond à la somme du revenu brut de la production de viande et de lait:

$$RE = RV + RL \quad (A3.2.23)$$

Le revenu brut de la production de viande correspond à la valeur de la production de viande

$$RV = (pv - t \text{ cost}_v)QVTOT \quad (A3.2.24)$$

Le revenu brut de la production de lait correspond à la valeur de la production de lait

$$RL = (pl - t\text{cost}l)QLTOT \quad (A3.2.25)$$

• **Le coût total de production**

est la somme des coûts des cultures, des coûts d'élevage, des coûts d'amortissement, d'entretien et de réparation du matériel, des coûts des taxes diverses, et du coût de la main-d'œuvre salariée :

$$CTOT = CCULTOT + CELEV + CEQ + CTAX + CMS \quad (A3.2.26)$$

Le coût total de production des cultures correspond à la somme du coût des intrants monétaires des cultures, et du coût d'achat des engrais:

$$CCULTOT = CCULT + CENG \quad (A3.2.27)$$

Le coût total des intrants monétaires des cultures est la somme des produits entre coût d'intrant monétaire par unité de surface et la superficie par activité de culture:

$$CCULT = \sum_c \sum_s \sum_a imc_{csa} \cdot SUPC_{csa} \quad (A3.2.28)$$

Le coût d'achat des engrais est la somme de la valeur de toutes les quantités de fertilisants appliquées par activité de culture, et par substrat. Cette estimation tient compte du coût de transaction pour le transport à partir du marché:

$$CENG = \sum_f \sum_s (pf_f + t\text{cost}f_f)QENG_{sf} \quad (A3.2.29)$$

La quantité totale d'engrais appliquée est la somme des produits de la quantité appliquée par hectare, par la superficie par activité de culture:

$$QENG_{sf} = \sum_s \sum_a \sum_c aeng_{csaf} \cdot SUPC_{csa} \quad (A3.2.30)$$

Le coût des activités de transport de fumier au *champ* est inclu dans le coût des intrants monétaires des cultures.

Le coût total de production en élevage est la somme du coût des intrants monétaires des activités d'élevage (bovins, ovins, caprins, embouche, traction, achat suppléments) :

$$CELEV = CBOV + COV + CCAP + CTRA \quad (A3.2.31)$$

Le coût total des activités de troupeaux bovins est la somme des produits entre intrant monétaire et nombre de bovins par activité bovine:

$$CBOV = \sum_b imb_b \cdot NBOV_b \quad (A3.2.32)$$

Le coût total pour les autres activités d'élevage(ovins, caprins, bœufs de labour) est défini de manière similaire:

$$COV = \sum_o imo_o \cdot NOV_o \quad (A3.2.33)$$

$$CCAP = \sum_g img_g \cdot NCAP_g \quad (A3.2.34)$$

$$CTRA = \sum_t imt_t \cdot NBL_t \quad (A3.2.35)$$

• **Bilan fourrager**

La disponibilité totale en aliments bétail exprimée en matière organique digestible (MOD) est supérieure ou égale au besoin total en aliments (en MOD) pour toutes catégories d'animaux:

$$DMODTOT_q \geq BMDTOT_q \quad (A3.2.36)$$

La disponibilité totale en MOD est égale à la somme de la quantité totale de résidus de culture stockée à la ferme plus la quantité totale de suppléments achetés et plus la quantité totale de fourrage prélevée sur les pâturages:

$$DMODTOT_q = QRESPROD_q + QSUP_q + QFPAT_q \quad (A3.2.37)$$

La quantité totale de résidus produite est égale à la somme des quantités de résidus produites par culture:

$$QRESPROD_q = \sum_c QRESCUL_{cq} \quad (A3.2.38)$$

La quantité totale de résidus produite par culture est le produit entre le rendement en résidus par la superficie de cette culture:

$$QRESCUL_{cq} = \sum_s \sum_a yres_{csa} SUPC_{csa} \quad (A3.2.39)$$

La quantité totale de fourrage prélevée sur les pâturages est égale au produit entre le rendement en fourrage par ha de pâturages et la disponibilité en terres de pâturages pour un ménage donné:

$$QFPAT_q = \sum_s yfpat_q \cdot TPATM_s \quad (A3.2.40)$$

$$\begin{aligned} \sum_m BMOD_{mr} &= \sum_b \text{mod } bov_{br} NBOV_{br} + \sum_o \text{mod } ov_{or} NOV_{or} \\ &+ \sum_g \text{mod } cap_{gr} NCAP_{gr} + \text{mod } bl_{ir} NBL_{ir} \end{aligned} \quad (A3.2.41)$$

$$BMDTOT_q = \sum_m \sum_r abc_{qmr} BMOD_{mr} \quad (A3.2.42)$$

A3.2.2. Ressources

- **Terres**

Restriction sur la ressource en terres : la ressource terre (aussi bien que les autres types de ressources) est soumise à la contrainte de disponibilité, c'est-à-dire que le besoin total en terres par substrat est inférieur ou égal à la disponibilité en terres par substrat dans l'exploitation agricole du ménage-paysan :

$$BTTOT_s \leq DTTOT_s \quad \text{pour tous } s \quad (A3.2.43)$$

La disponibilité totale en terres est égale à la superficie totale disponible dans l'exploitation agricole du ménage-paysan.

Le besoin total en terres par substrat est égale à la somme des superficies allouées aux cultures et à la jachère :

$$BTTOT_s = \sum_c TCUL_{cs} + TJAC_s \quad \text{pour tous } s \quad (A3.2.44)$$

Le besoin total en terres de culture est égale à la somme des besoins en terres pour toutes les cultures:

$$TCTOT = \sum_s \sum_c TCUL_{cs} \quad (A3.2.45)$$

Le besoin en terres pour une culture donnée par substrat est égale à la somme des superficies en terres pour toutes les activités de cette culture sur ce substrat:

$$TCUL_{cs} = \sum_a SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } c, s \quad (A3.2.46)$$

Le besoin en terres pour la jachère par substrat est égale à la somme des besoins en terres pour toutes les activités de jachère:

$$TJAC_s = \sum_j SUPJ_{sj} \quad \text{pour tous } s \quad (A3.2.47)$$

La disponibilité en pâturage⁸

la **disponibilité moyenne en pâturage par UBT** dans la région correspond au rapport de la disponibilité totale en pâturages par le nombre total d'animaux dans la région soit ($TPAT/ATR$). La disponibilité en pâturages pour un ménage-paysan donné a été estimée sur la base du produit entre le nombre d'animaux possédé (AM) en UBT par la disponibilité moyenne en pâturages :

$$TPATM \leq AM \frac{TPAT}{ATR} \quad (A3.2.48)$$

La **disponibilité en pâturages pour un ménage-paysan donné** est égale la somme de la disponibilité en pâturages des différents substrats :

$$TPATM = \sum_s TPATM_s \quad (A3.2.49)$$

Le **nombre total d'animaux par type de ménage-paysan (en UBT)** est égale à la somme du nombre total (bovins, ovins, caprins) d'animaux par activité et stratégie fourragère (en UBT) :

$$AM = \sum_r \sum_b NBOV_{br} + \sum_r \sum_o NOV_{or} + \sum_r \sum_g NCAP_{gr} + \sum_r \sum_l NBL_{lr} \quad (A3.2.50)$$

L'exigence de la possibilité de rotation : la superficie allouée à la culture du coton par substrat est inférieure ou égale au tiers de la superficie totale cultivée par substrat :

$$TCOT_s \leq \frac{1}{3} DTTOT_s \quad \text{pour tous } s \quad (A3.2.51)$$

• **Main-d'œuvre**

Restriction sur la disponibilité en (ressource) main-d'œuvre : la ressource terre (aussi bien que les autres types de ressources) est soumise à la contrainte de disponibilité, c'est-à-dire que le besoin total en terres est inférieur ou égal à la disponibilité totale en main-d'œuvre dans le ménage-paysan :

⁸ Cette disponibilité est fonction de la taille du cheptel possédé

$$BMTOT_p \leq DMTOT_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.52)$$

La disponibilité en main-d'œuvre familiale par période est le nombre d'actifs multiplié par le nombre de jours de cette période :

$$DMF_p = NACT \cdot NJP_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.53)$$

La disponibilité de la main-d'œuvre familiale par ménage se divise entre le nombre d'actifs familiaux travaillant dans le ménage et le nombre d'actifs familiaux travaillant comme main-d'œuvre salariée à l'extérieur du ménage, au cours d'une période donnée :

$$DMF_p = MFI_p + MFS_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.54)$$

La disponibilité totale en main-d'œuvre dans le ménage est la somme du nombre d'actifs familiaux travaillant dans le ménage (c.-à-d., la main-d'œuvre familiale interne) et de la main-d'œuvre salariée utilisée dans le ménage au cours d'une période donnée :

$$DMTOT_p = MFI_p + MS_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.55)$$

Le besoin total en main-d'œuvre par période est la somme des besoins en main-d'œuvre des activités de cultures et d'élevage :

$$BMTOT_p = BMCUL_p + BME_p + BMFU_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.56)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de culture est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et superficie par activité de culture et par période :

$$BMCUL_p = \sum_c \sum_s \sum_a bma_{csa} \cdot SUP_{csa} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.57)$$

Le besoin en main-d'œuvre pour l'élevage est la somme des besoins en main-d'œuvre des troupeaux bovins, ovins, caprins, et des bœufs de labour :

$$BME_p = BMBOV_p + BMOV_p + BMCAP_p + BMTRA_p \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.58)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de troupeaux bovins est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et nombre de bovins par activité de troupeaux bovins et par période :

$$BMBOV_p = \sum_r \sum_b .bmb_{pb} \cdot NBOV_{br} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.59)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de troupeaux ovins est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et nombre de bovins par activité de troupeaux ovins et par période :

$$BMOV_p = \sum_r \sum_o bmo_{po} \cdot NOV_{or} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.60)$$

Le besoin total en main-d'œuvre des activités de troupeaux caprins est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et nombre de bovins par activité de troupeaux caprins et par période :

$$BMCAP_p = \sum_r \sum_c bmg_{pc} \cdot NCAP_{gr} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.61)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités de traction par période est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre et le nombre de bœufs de labour par activité de traction et par période :

$$BMTRA_p = \sum_r \sum_t bmt_{pt} \cdot NBL_{tr} \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.62)$$

Le besoin en main-d'œuvre des activités de transport de fumier pour chaque période est la somme des produits entre besoin en main-d'œuvre par activité de transport de fumier et le nombre d'activités de transport de fumier par période :

$$BMFU_p = \sum_u bmu_{pu} \cdot NFU_u \quad \text{pour tous } p \quad (A3.2.62)$$

• A 3.2.3. Bilan des éléments nutritifs

La disponibilité en fertilisants venant des différentes sources interne au système est la somme des production de fertilisants venant des activités de jachère, et de l'apport de matière organique provenant des activités de transport de fumier :

$$DFER_{sf} = FJAC_{sf} + FFU_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.63)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités de jachère est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par unité de surface mise en jachère et la superficie par activité de jachère :

$$FJAC_{sf} = \sum_j f_{sfj} \cdot SUPJ_{sj} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.64)$$

La quantité totale de fertilisants venant des activités de transport de fumier au champ est la somme des produits entre quantité de fertilisants produite par unité de fumier transporté et la quantité de fumier transporté par activité de transport de fumier :

$$FFU_{sf} = \sum_u f_{usf} \cdot QFU_{su} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.65)$$

La disponibilité totale en fertilisants est la somme entre la disponibilité interne en fertilisants et la quantité de fertilisants venant de l'apport d'engrais sur les activités de cultures :

$$DFERTOT = \sum_{sf} DFER_{sf} + \sum_{sf} QENG_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.66)$$

Le besoin total en fertilisants est la somme des besoins par substrat et par fertilisant

$$BFERTOT_f = \sum_s BFER_{sf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.67)$$

Le besoin en fertilisants par substrat et par fertilisants est la somme des quantités totales de fertilisants appliquées sur les activités de culture et celles de sylviculture, par substrat et par fertilisant :

$$BFER_{sf} = \sum_c FCUL_{csf} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.68)$$

La quantité totale de fertilisants appliquées sur les activités de cultures est la somme des produits entre la quantité de fertilisant appliquée par unité de surface et la superficie par activité de culture :

$$FCUL_{csf} = \sum_a fa_{csaf} \cdot SUPC_{csa} \quad \text{pour tous } s, f \quad (A3.2.69)$$

Tableau A3.2.1. Les indices dans le modèle ménage-paysan (MMP).

Indice	Description	spécification des composantes
a	activités de cultures	
j	activités de jachère	
u	activités de transport de fumier	
b	bovins	
o	ovins	
g	caprins	
t	traction	
p	périodes pour la main-d'œuvre	p = 5
m	menus	
r	stratégies fourragères	
q	qualités des menus	n=8
c	cultures	mil = 1, sorgho = 2, maïs = 3, niébé = 4, arachide = 5, coton = 6
f	fertilisants	MO (matière organique) = 1 N (azote) = 2 P (phosphore) = 3 K (potasse) = 4
s	substrats	EC(sols d'écoulement) = 1 GR(gravillonnaires) = 2 GR-su (grav. superficiels) = 3 LIAR (limon-argileux) = 4 LIMO (limoneux) = 5 LISA-f (limon-sableux fins) = 6

Tableau A3.2.2 Les variables dans MMP.

Variable	description	unité	Sections
Z	Fonction d'utilité de consommation		
RN	Revenu net	F CFA	5.6.2
RCOR	Revenu corrigé	F CFA	5.6.2
RCORMAX	Revenu corrigé maximum	F CFA	5.6.2
RTOT	revenu brut total	F CFA	5.6.2
UCO	utilité de consommation		5.6.2
$u(c_i)$	fonction d'utilité de consommation		
UCOMAX	utilité de consommation maximale		
BMO	bilan de la matière organique	t	5.6.2
$SUPC_{csa}$	superficie par activité de culture et par substrat	ha	5.6.2
$SUPJ_{sj}$	superficie par activité de jachère	ha	
QC_c	quantité produite par culture	t	5.6.2
QCV_c	quantité vendue par culture	t	
QCC_c	quantité consommée par culture	t	
RC_c	revenu brut par culture	F CFA	5.6.2
RBC	revenu brut total des cultures	F CFA	5.6.2
RMFS	revenu main-d'oeuvre familiale salariée	F CFA	5.6.2.
QVTOT	production totale de viande	tonnes	
QVBOV	production de viande des bovins	tonnes	
QVOV	production de viande des ovins	tonnes	

Tableau A3.2.2 (suite 1). Les variables dans MMP.

Variable	description	unité	Section
<i>QVCAP</i>	production de viande des caprins	tonnes	5.6.2
<i>NBOV_b</i>	nombre de bovins par activité de troupeau bovin	UBT	
<i>NOV_o</i>	nombre d'ovins par activité de troupeau ovin	UBT	
<i>NCAP_g</i>	nombre de caprins par activité de troupeau caprin	UBT	
<i>NBL_t</i>	nombre de bœufs de labour activité de traction	anm	
<i>QVC</i>	quantité de viande consommée	tonnes	
<i>QVY</i>	quantité de viande vendue	tonnes	
<i>QLTOT</i>	production totale de lait	tonnes	5.6.2
<i>QLBOV</i>	production de lait des troupeaux bovins	tonnes	
<i>QLOV</i>	production de lait des troupeaux ovins	tonnes	
<i>QLCAP</i>	production de lait des troupeaux caprins	tonnes	
<i>QLC</i>	quantité de lait consommée	tonnes	
<i>QLV</i>	quantité de lait vendue	tonnes	
<i>RE</i>	revenu brut de l'élevage	F CFA	
<i>RV</i>	revenu brut de la production de viande	F CFA	
<i>RL</i>	revenu brut de la production de lait	F CFA	
<i>CTOT</i>	coût total de production	F CFA	5.6.2
<i>CCULTOT</i>	coût total de production des cultures	F CFA	
<i>CCULT</i>	coût de production des cultures	F CFA	
<i>CENG</i>	coût d'achat total des engrais	F CFA	
<i>CEQ</i>	coût d'amortissement d'entretien et de réparation du matériel	F CFA	
<i>CTAX</i>	coût des taxes diverses	F CFA	
<i>CMS</i>	coût de la main-d'oeuvre salariée hors-ferme	F CFA	
<i>QENG_{sf}</i>	quantité de fertilis. ext. apportée par substrat et par type de fert	tonnes	
<i>CELEV</i>	coût total de production des activités d'élevage	F CFA	5.6.2
<i>CBOV</i>	coût total de production de l'élevage bovin	F CFA	
<i>COV</i>	coût total de production de l'élevage ovin	F CFA	
<i>CCAP</i>	coût total de production de l'élevage caprin	F CFA	
<i>CTRA</i>	coût total de la traction animale	F CFA	
<i>DMODTOT_q</i>	disponibilité totale en matière organique disponible par qualité	tonnes	5.6.2
<i>BMODTOT_q</i>	besoin total en MOD par qualité (q)	tonnes	
<i>QRESPROD_q</i>	quantité totale de résidus des cultures produite par qualité	tonnes	
<i>QRESCUL_{eq}</i>	quantité de résidus produite par culture et par qualité	tonnes	
<i>QSUP_q</i>	quantité totale de supplément achetée par qualité	tonnes	
<i>QFPAT_q</i>	quantité totale de fourrage prélevée sur les pâturages par q	tonnes	
<i>BMOD_{mr}</i>	besoin en MOD par menu et par stratégie fourragère	tonnes	
<i>NBOV_{br}</i>	nombre de bovins par activité bovine et par stratégie fourragère	UBT	
<i>NOV_{or}</i>	nombre d'ovins par activité ovine et par stratégie fourragère	UBT	
<i>NCAP_{gr}</i>	nombre de caprins par activité caprine et par stratégie fourrag.	UBT	
<i>NBL_v</i>	nombre de bœufs de labour activité de traction et par strat. f.	anm	

Tableau A3.2.2 (suite 2). Les variables dans MMP.

Variable	description	unité	Section
<i>DTTOT_s</i>	disponibilité en terres par substrat	ha	5.6.1
<i>BTOT_s</i>	besoin en terres par substrat	ha	
<i>TCTOT</i>	superficie totale cultivée	ha	
<i>TCUL_{cs}</i>	superficie cultivée par substrat et par culture	ha	
<i>TJAC_s</i>	superficie mise en jachère par substrat	ha	
<i>TPAT</i>	superficie totale des pâturages dans la région	ha	
<i>TPATM</i>	superficie de pâturage disponible par ménage	ha	
<i>TPATM_s</i>	sup de pâturage disponible par substrat et par ménage	ha	
<i>ATR</i>	nombre total d'animaux dans la région	UBT	
<i>AM</i>	nombre d'animaux total dans le ménage	UBT	
<i>TCOT_s</i>	superficie allouée à la culture du coton	ha	
<i>DMTOT_p</i>	disponibilité en main-d'œuvre par période	homme.j	5.6.2
<i>BMTOT_p</i>	besoin en main-d'œuvre par période	homme.j	
<i>DMF_p</i>	disponibilité en main-d'oeuvre familiale par période	homme.j	
<i>MFI_p</i>	main-d. familiale interne travaillant dans le ménage par p	homme.j	
<i>MFS_p</i>	main-d. familiale salarié travaillant hors du ménage par p.	homme.j	
<i>MS_p</i>	main-d'œuvre salariée utilisée par le ménage par p	homme.j	
<i>BMTOT_p</i>	disponibilité totale en main-d'œuvre par p	homme.j	
<i>BMCUL_p</i>	besoin total en main-d. des activités de cultures par p	homme.j	
<i>BME_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités d'élevage par p	homme.j	
<i>BMFU_p</i>	besoin en main-d'œuvre des activités de transp. de fumier par p	homme.j	
<i>NFU_u</i>	nombre d'activités de transport de fumier		
<i>BMBOV_p</i>	besoin en main-d. des activités de troupe. bovins par p	homme.j	
<i>BMOV_p</i>	besoin en main-d. des activités de troupe. ovins par p	homme.j	
<i>BMCAP_p</i>	besoin en main-d. des activités de troupe. caprins par p	homme.j	
<i>BMTRA_p</i>	besoin en main-d. des activités de traction par p	homme.j	
<i>DFERTOT</i>	disponibilité totale en fertilisants	tonnes	5.6.2
<i>DFER_{sf}</i>	disponibilité en fertilisants par substrat et par fertilisants	tonnes	
<i>FENG_{sf}</i>	quantité de fertilisants venant de l'apport d'engrais	tonnes	
<i>BFERTOT_f</i>	besoin total en fertilisants	tonnes	
<i>BFER_{sf}</i>	besoin en fertilisants par substrat et par fertilisants	tonnes	
<i>FFU_{sf}</i>	quantité de fertilisants venant des activités de transp. de fumier	tonnes	
<i>QFU_{su}</i>	quantité de fumier transportée par activité de transp. de fumier	tonnes	
<i>FJAC_{sf}</i>	quantité de fertilisants venant des activités de jachère	tonnes	
<i>FCUL_{csf}</i>	quantité totale de fertilisants appliquée sur les act. de cult.	tonnes	

Tableau A3.2.3. Les coefficients dans MMP.

Coefficient	description	unité
ω_1	vecteurs exprimant le poids (ou score) attribué à l'utilité de consommation	
ω_2	vecteurs exprimant le poids (ou score) attribué au revenu net corrigé	
γ	facteur de normalisation des unités	
t	temps	
dt	variation du temps	
r	taux d'escompte	
co	coût d'opportunité du bilan de la matière organique	F CFA t ⁻¹
FNuCo	facteur de normalisation de l'utilité de consommation	
FNrCo	facteur de normalisation du revenu net corrigé	
y_{csa}	rendement produit principal par activité de culture, par substrat	t ha ⁻¹
$yres_{csa}$	rendement résidu par activité de culture, par substrat	t ha ⁻¹
yfp_{atq}	rendement en fourrage par ha de pâturages et par qualité	t ha ⁻¹
qvb_b	rendement en viande pour les bovins	t UBT ⁻¹
qvo_o	rendement en viande pour les ovins	t UBT ⁻¹
qvc_g	rendement en viande pour les caprins	t UBT ⁻¹
qlb_b	rendement en lait par activité les bovins	t UBT ⁻¹
qlo_o	rendement en lait par activité les ovins	t UBT ⁻¹
qlc_g	rendement en lait par activité les caprins	t UBT ⁻¹
bch_c	besoin de consommation par culture par habitant et par an	kg hbt ⁻¹ an ⁻¹
bvh	besoin de consommation en viande par habitant et par an	kg hbt ⁻¹ an ⁻¹
blh	besoin de consommation en lait par habitant et par an	kg hbt ⁻¹ an ⁻¹
pc _c	prix du produit principal par culture	F CFA t ⁻¹
pv	prix de la viande	F CFA t ⁻¹
pl	prix du lait	F CFA t ⁻¹
pf_f	prix par fertilisant	F CFA t ⁻¹
tcost _c	coût de transaction par culture	F CFA t ⁻¹
tcost _v	coût de transaction lait	F CFA t ⁻¹
tcost _l	coût de transaction viande	F CFA t ⁻¹
tcost _f	coût de transaction par fertilisant	F CFA t ⁻¹
imc_{ssa}	intransant monétaire par activité de culture, par substrat	F CFA ha ⁻¹
imb_b	intransant monétaire par activité de troupeaux bovins	F CFA UBT ⁻¹
im_o	intransant monétaire par activité de troupeau ovins	F CFA UBT ⁻¹
img_g	intransant monétaire par activité de troupeaux caprins	F CFA UBT ⁻¹
imt_t	intransant monétaire par activité de traction	F CFA anm ⁻¹
imu_u	intransant monétaire par activité de transport de fumier et par période	F CFA t ⁻¹
$aeng_{csaf}$	quantité d'engrais appliquée par hectare, par type de fertilisant	kg ha ⁻¹
$modbo_{vtr}$	besoin en mod par activité bovine et par stratégie fourragère	tonnes
$modov_{or}$	besoin en mod par activité ovine et par stratégie fourragère	tonnes
$modcap_{gr}$	besoin en mod par activité caprine et par stratégie fourragère	tonnes
$modbl_{tr}$	besoin en mod par activité de traction et par stratégie fourragère	tonnes
abc_{qmr}	besoin en main-d'œuvre par menu et par stratégie fourragère	tonnes
bma_{csa}	besoin en main-d'œuvre par activité de culture et par période (p)	homme ha ⁻¹
bmb_{pb}	besoin en main-d'œuvre par activité de troupeaux bovins et par p	homme UBT ⁻¹
bm_o	besoin en main-d'œuvre par activité de troupeaux ovins et par p	homme UBT ⁻¹
bmg_{pg}	besoin en main-d'œuvre par activité de troupeaux caprins et par p	homme UBT ⁻¹
bmt_{prt}	besoin en main-d'œuvre par activité de traction et par p	homme anm ⁻¹
bmu_{pu}	besoin en main-d'œuvre par activité de transport de fumier et par p	homme t ⁻¹
fu_{suf}	rend. en fert. de la quant. de fumier transportée par act. de transp.	tonnes t ⁻¹
fj_{sif}	rendement en fertilisants par activité de jachère	tonnes ha ⁻¹
fa_{csaf}	quantité de fertilisants appliquée par activité de culture	t ha ⁻¹

Annexe 4.3. Caractéristiques des options techniques choisies pour la production agricole dans la condition de non-durabilité II.

culture	Unités	mil	mil	mil	sorgho	sorgho	maïs	maïs	niébé	arachide	stylo	coton
substrat		LIAR	LIAR	LIMO	LIAR	LIAR	LIAR	LIMO	LIAR	LIAR	LIAR	LIAR
lutte anti-ruissellement		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
rendement grain	kg ha ⁻¹	3.7	3.5	3.4	5.0	4.8	5.9	6.1	1.5	1.1	0.0	1.8
rendement résidus/fanes	kg ha ⁻¹	0.0	5.9	5.7	0.0	6.4	5.4	0.0	1.5	1.7	2.8	0.0
intrants												
MO	t ha ⁻¹	0.0	1.9	2.6	0.0	1.8	1.7	0.0	2.0	2.4	0.0	0.7
N	kg ha ⁻¹	142	160	149	170	189	244	168	46	63	0	86
P	kg ha ⁻¹	8	11	10	8	10	14	12	7	5	3	5
K	kg ha ⁻¹	67	159	152	51	112	136	39	71	38	30	13
Bilan												
MO	t ha ⁻¹	245	275	256	292	326	420	290	79	109	0	149
N	kg ha ⁻¹	9	11	10	11	13	16	11	3	4	0	6
P	kg ha ⁻¹	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.9	0.8	0.5	0.4	-2.8	0.3
K	kg ha ⁻¹	4	11	10	3	7	9	3	5	3	-30	0.9

Annexe 4.4. Caractéristiques des options techniques choisies pour la production agricole dans la condition de non-durabilité III.

culture		mil	mil	mil	mil	Sorgho	sorgho	maïs	niébé	arachid	stylo	coton	coton
substrat		LIAR	LIAR	LISA-f	LIMO	LIAR	LIMO	LIMO	LIAR	LIAR	LIAR	LIAR	LISA-f
utilisation résidus		paillage	libre	libre	paillage	Libre	libre	paillage	libre	libre	libre	paillage	paillage
rendement grain	kg ha ⁻¹	2.9	2.7	2.5	2.9	3.6	3.6	4.9	1.3	0.9	0.0	1.5	1.29
rendement résidus/fanes	kg ha ⁻¹	0.0	4.4	4.2	*	4.8	4.8	*	1.3	1.3	2.8	*	*
intrants													
MO	t ha ⁻¹	0	1.3	1.1	0	1.2	2.0	0	1.4	1.6	0	0.4	0.3
N	kg ha ⁻¹	95	106	125	88	126	108	112	31	42	0	58	65
P	kg ha ⁻¹	5	7	7	5	7	7	8	5	4	1.8	3	3
K	kg ha ⁻¹	45	106	127	42	74	65	26	47	25	19.8	9	18
intrants monétaires	F CFA	2319	2273	2248	2554	2352	2342	2813	3380	3159	4530	4910	4910
main-d'œuvre	hj	1976	1651	1622	1876	1610	1604	1666	1265	1275	262	1555	1478
Bilan													
MO	kg ha ⁻¹	384	413	485	340	489	418	435	119	163	0	223	252
N	kg ha ⁻¹	-14	-16	-19	-13	-19	-16	-17	-5	-6	-0	-9	9.7
P	kg ha ⁻¹	-0.8	-1.1	-1.0	-0.8	-1.0	-1.0	-1.2	0.7	0.5	1.8	-0.5	-0.4
K	kg ha ⁻¹	-7	-16	-19	-6	-11	-10	-4	-7	-4	-20	-1	-2.7

Annexe 4.5. Caractéristiques des options techniques choisies pour la production agricole dans la condition de non-durabilité IV.

culture		mil	sorgho	niébé	Stylo	coton	sorgho	maïs	niébé	Andro-pogon	Andro-pogon
substrat		LIAR	LIAR	LIAR	LIAR	LIAR	LIMO	LIMO	LIMO	LIMO	LISA-f
utilisation résidus		libre	libre	libre	Libre	paillage	libre	paillage	libre	libre	libre
rendement grain	kg ha ⁻¹	1.6	2.1	0.6	0.0	1.1	2.1	3.3	1.2	0.0	0.0
rendement résidus/fanes	kg ha ⁻¹	2.6	2.8	0.9	2.8	*	2.8	*	1.2	8.3	7.9
intrants											
MO	t ha ⁻¹	0.6	0.6	0.8	0	0.2	1.0	0	0.9	1.2	0.6
N	kg ha ⁻¹	53	63	21	0	29	54	56	13	49	53
P	kg ha ⁻¹	3.5	3.4	1.8	0.9	1.6	3.3	3.9	2.6	2	1.9
K	kg ha ⁻¹	53	37	13	10	4	32	13	21	108	114
intrants monétaires	F CFA	2052	2106	3105	453	489	2104	2604	387	1521	1522
main-d'œuvre	hj	1395	1339	1177	263	1399	1342	1441	1125	247	212
Bilan											
MO	kg ha ⁻¹	274	325	109	0	149	279	290	66	255	274
N	kg ha ⁻¹	-11	-13	-4	0	-6	-11	-11	-3	-10	-11
P	kg ha ⁻¹	-0.7	-0.68	-0.36	-0.92	-0.32	-0.67	-0.78	0.52	0.4	0.39
K	kg ha ⁻¹	-11	-7	-3	-10	-1	-6	-3	-4	-22	-23

Annexe 4.6. Caractéristiques des types d'élevage choisis dans le scénario perspective (SPI).

Caractéristiques	Troupeau bovins (type 1)	Troupeau bovins (type 2)	Troupeau ovins	Troupeau caprins
Objectif principal de production	viande/traction	Lait	lait/viande	lait/viande
Extrants				
lait (kg UBT ⁻¹ an ⁻¹)	91	261	333	315
viande ²⁾ kg p.v. UBT ⁻¹ an ⁻¹)	50	80	158	140
bœuf de labour ²⁾ (animal UBT ⁻¹ an ⁻¹)	0.3	-	-	-
Intrants				
intensité	intensif	intensif	intensif	intensif
niveau d'alimentation (NA ¹⁾)	1.20	1.20	1.15	1.15
MOD ³⁾ (kg UBT ⁻¹)	891	1105	1805	1876
intrants monétaires (F CFA)	2526	3510	3410	4040
main-d'œuvre (homme-jour)	294	47	133	157

¹⁾ NA=Niveau d'Alimentation, exprimé en ingestion de matière organique digestible (MOID) par rapport à celle au niveau d'entretien ;

²⁾ Bœufs de Labour qui peuvent être utilisés dans les activités culturelles ;

³⁾ MOD=Besoin en matière organique digestible ;

⁴⁾ viande : exprimée en kg de poids vif (P.V.).

Annexe 4.7. Les différentes qualités définies par saison et par type d'aliments.

Q	NA	DMO (%)	aliments en saison sèche	aliments en saison de pluies
1	0.25	35	pâturage N < 4 g kg ⁻¹ MS	
2	0.50	40	pâturage N : 4-6 g kg ⁻¹ MS	
3	0.75	45	pâturage N : 6-8 g kg ⁻¹ MS, Andropogon plante entière, paille de mil, sorgho, maïs	
4	1.00	50	pâturage N 8-10 g kg ⁻¹ MS, feuilles de mil, de sorgho, de maïs, d'Andropogon, paille de riz	
5	1.25	55	pâturage N : 10-13 g kg ⁻¹ MS, fanes de niébé, arachide, paille de riz traité	
6	1.50	60	pâturage N > 13 g kg ⁻¹ MS bourgou ; verano	pâturage N < 16 g kg ⁻¹ MS
7	1.75	65		pâturage N 16-22 g kg ⁻¹ MS
8	2.00	70	tourteau de coton	pâturage N > 22 g kg ⁻¹ MS

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

Source : Bakker *et al.*, 1996a.

Annexe 4.8. Caractéristiques (tableaux intrants/extrants) des options techniques de sylviculture choisies dans le scénario perspective (SPI).

Option technique sylviculture	1	2
substrat	LISA-f	LISA-f
rendement bois de chauffe (m ³ ha ⁻¹)	364	364
rendement bois de service (m ³ ha ⁻¹)	91	91
intrants		
fumier (MO) (t ha ⁻¹)	14	14
azote (N) (kg ha ⁻¹)	0	0
phosphore (P) (kg ha ⁻¹)	0.3	0.3
potassium (K) (kg ha ⁻¹)	0	0
main-d'œuvre (hj an ⁻¹)	237	302
Intrants monétaires	455	455

Annexes du Chapitre 5

Annexe 5.1. Exemples d'options techniques de cultures actuelles décrites.

		mil	mil	mil	coton	coton	Niébé	arachide
Substrat		GR	LIAR	LIAR	GR	LIMO	LIAR	LIAR
Intensité		EX	EX	SI	SI	IN	EX	EX
Technique culturale		LP	BS	BS	LP	BS	BS	LP
Rendement grain	t ha ⁻¹	0.49	1.09	1.30	0.65	1.63	0.45	0.39
Rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	0.79	1.78	2.13	0.00	0.00	1.00	0.81
Main-d'œuvre familiale	hj	102	140	121	93	177	81	79
Semences	kg ha ⁻¹	10	10	10	30	30	20	100
Pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0	0.03	0.03	0	0
Biocides	kg ha ⁻¹	0	0	0	6	6	3	3
Fertilisants (appliqués)								
MO	kg ha ⁻¹	7	15	15	17.64	34.92	0	0.00
N	-	1.5	3	3	7.84	15.52	0	0.00
P	-	1.5	3	3	5.88	11.64	0	0.00
K	-	0	0	0	649	1284	0	0.00
bilan fertilisants								
MO	t ha ⁻¹	-0.9	-0.7	-1.5	-1.1	-1.8	-1.2	-1.0
N	kg ha ⁻¹	-57	-48	-55	-73	-63	-15	-47
P	-	-10	-4	-5	-3	15	-3	-13
K	-	-27	-45	-51	-11	17	-16	-6

Annexe 5.2. Options techniques non-durables de production de céréales retenues dans le scénario de base 1 (SB1) pour le ménage-paysan de type A.

		mil	mil	mil	mil	sorgho	sorgho	maïs	maïs
substrat		GR	LIAR	LIAR	LIAR	EC	LIAR	LIMO	LISA-f
Intensité		EX	EX	SI	EX	EX	EX	EX	SI
Technique culturale		LP	BS	BS	BS	LP	BS	LP	LP
rendement grain	t ha ⁻¹	0.49	1.09	1.30	1.09	1.29	1.07	1.25	1.27
rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	0.79	1.78	2.13	2.93	2.68	2.22	1.96	2.00
Intrants									
main-d'œuvre familiale		102	140	121	140	120	119	103	79
main-d'œuvre traction		0	0	16	0	0	0	0	12
semences	kg ha ⁻¹	10	10	10	10	10	10	25	25
pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0
biocides	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	3	3
Fertilisants (apports)									
MO	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	29	22.1	15	15
N	kg ha ⁻¹	7	15	15	15	4	2.9	17	17
P	kg ha ⁻¹	1.5	3	3	3	1.3	0.97	6	6
K	kg ha ⁻¹	1.5	3	3	3	1.3	0.97	2	2
bilan fertilisants (kg ha ⁻¹)									
MO	t ha ⁻¹	-0.8	-0.7	-1.4	-0.8	-2.4	-1.0	-1.1	-1.3
N	kg ha ⁻¹	-57	-48	-55	-48	-86	-44	-66	-59
P	"	-10	-4	-5	-5	-9	-5	-3	-4
K	"	-27	-45	-51	-55	-27	-21	-28	-29

Annexe 5.3. Options techniques non-durables de production de coton et de légumineuses retenues dans le scénario de base 1 (SB1) pour le ménage-paysan de type A.

		niébé	arachide	arachide	coton	coton	coton	coton	coton	coton
substrat		LIAR	LIAR	LIMO	EC	GR	LIAR	LIAR	LIMO	LISA-f
Intensité		EX	EX	EX	IN	SI	SI	IN	IN	SI
Technique culturale		BS	LP	LP	LP	LP	BS	BS	BS	BS
rendement grain	t ha ⁻¹	0.45	0.39	0.45	1.90	0.65	1.49	1.62	1.63	1.30
rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	1.00	0.81	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intrants										
main-d'œuvre familiale		81	79	80	190	93	169	174	177	147
main-d'œuvre traction		0	0	0	14	12	16	18	18	16
semences	kg ha ⁻¹	20	100	100	30	30	30	30	30	30
pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
biocides	kg ha ⁻¹	3	3	3	6	6	6	6	6	6
Fertilisants (apports)										
MO	kg ha ⁻¹	0	0.00	0.00	45.36	17.64	34.92	34.92	34.92	34.92
N	kg ha ⁻¹	0	0.00	0.00	20.16	7.84	15.52	15.52	15.52	15.52
P	kg ha ⁻¹	0	0.00	0.00	15.12	5.88	11.64	11.64	11.64	11.64
K	kg ha ⁻¹	0	0.00	0.00	1668	649	1284	1284	1284	1284
bilan fertilisants (kg ha ⁻¹)										
MO	t ha ⁻¹	-1.2	-1.0	-1.4	-3.0	-1.1	-0.8	-0.7	-1.8	-0.6
N	kg ha ⁻¹	-15	-47	-60	-104	-73	-55	-55	-63	-51
P	"	-3	-13	-10	14	-3	13	13	15	14
K	"	-16	-6	-8	23	-11	14	23	17	5

Annexe 5.4. Options techniques non-durables de production de céréales retenues dans le scénario de base 1 (SB1) pour le ménage-paysan de type B.

		mil	mil	sorgho	sorgho	sorgho	sorgho	sorgho	maïs	maïs
substrat		GR	LIAR	EC	GR	GR	LIAR	LIMO	LIMO	LISA-f
Intensité		EX	SI	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX
Technique culturale		LP	BS	LP	LP	LP	BS	BS	LP	LP
rendement grain	t ha ⁻¹	0.48	1.30	1.29	0.53	0.52	1.07	1.22	1.25	1.06
rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	0.79	2.13	1.62	0.66	1.09	2.22	1.54	1.24	1.07
Intrants										
main-d'œuvre familiale	hj	102	121	120	90	90	119	126	103	96
main-d'œuvre traction	hj	0	16	0	0	0	0	0	0	0
semences	kg ha ⁻¹	10	10	10	10	10	10	10	25	25
pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0
biocides	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Fertilisants (apports)										
MO	kg ha ⁻¹	7.4	14.6	3.8	1.5	1.5	2.9	2.9	17	17
N	kg ha ⁻¹	1.5	2.9	1.3	0.5	0.5	0.97	0.97	6	6
P	kg ha ⁻¹	1.5	2.9	1.3	0.5	0.5	0.97	0.97	2	2
K	kg ha ⁻¹	0	0	29	11	11	22	22	15	15
Bilan										
MO	t ha ⁻¹	-0.8	-1.4	-2.3	-0.9	-1.0	-1.0	-1.4	-1.1	-0.7
N	kg ha ⁻¹	-57	-55	-86	-55	-55	-44	-54	-66	-53
P	"	-10	-5	-9	-10	-11	-5	-4	-3	-4
K	"	-27	-51	-23	-13	-14	-21	-20	-23	-22

Annexe 5.5. Options techniques non-durables de production de coton et de légumineuses retenues dans le scénario de base 1 (SB1) pour le ménage-paysan de type B.

		niébé	arachide	coton	coton	coton	coton	coton	coton
substrat		LIAR	LIMO	EC	GR	LIAR	LIAR	LIMO	LISA-f
Intensité		EX	EX	IN	SI	SI	IN	IN	SI
Technique culturale		BS	LP	LP	LP	BS	BS	BS	BS
rendement grain	t ha ⁻¹	448	447	1896	648	1492	1616	1628	1300
rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	998	927	0	0	0	0	0	0
Intrants									
main-d'œuvre familiale	hj	81	80	190	93	169	174	177	147
main-d'œuvre traction	hj	0	0	14	12	16	18	18	16
semences	kg ha ⁻¹	20	100	30	30	30	30	30	30
pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
biocides	kg ha ⁻¹	3	3	6	6	6	6	6	6
Fertilisants (apports)									
MO	kg ha ⁻¹	0	0	45	18	35	35	35	35
N	kg ha ⁻¹	0	0	20	8	16	16	16	16
P	kg ha ⁻¹	0	0	15	6	12	12	12	12
K	kg ha ⁻¹	0	0	1667	648	1284	1284	1284	1284
Bilan									
MO	t ha ⁻¹	-1.1	-1.4	-3.0	-1.1	-0.8	-0.7	-1.8	-0.6
N	kg ha ⁻¹	-15	-60	-104	-73	-55	-55	-63	-51
P	-	-3	-10	14	-3	13	13	15	14
K	-	-16	-8	23	-11	14	23	17	5

Annexe 5.6. Options techniques non-durables de production de céréales retenues dans le scénario de base 1 (SB1) pour le ménage-paysan de type C.

		mil	sorgho	sorgho	sorgho	maïs
substrat		LIAR	GR	GR	LIMO	LIMO
Intensité		EX	EX	EX	EX	EX
Technique culturale		BS	LP	LP	BS	BS
rendement grain	t ha ⁻¹	1.41	0.53	0.53	1.22	1.49
rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	3.81	0.66	1.10	1.54	1.48
Intrants						
main-d'œuvre familiale	hj	140	90	90	126	119
main-d'œuvre traction	hj	0	0	0	0	0
semences	kg ha ⁻¹	10	10	10	10	25
pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0	0	0
biocides	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	3
Fertilisants (apports)						
MO	kg ha ⁻¹	15	1	1	3	21
N	kg ha ⁻¹	3	0	0	1	8
P	kg ha ⁻¹	3	0	0	1	3
K	kg ha ⁻¹	0	11	11	22	18
Bilan						
MO	t ha ⁻¹	-1.5	-0.9	-1.0	-1.4	-1.3
N	kg ha ⁻¹	-58	-55	-55	-54	-53
P	-	-6	-10	-11	-4	2
K	-	-67	-13	-14	-20	-29

Annexe 5.7. Options techniques non-durables de production de coton et de légumineuses retenues dans le scénario de base 1 (SB1) pour le ménage-paysan de type C.

		niébé	niébé	niébé	niébé	arachide	coton						
substrat		EC	LIAR	LIMO	LISA-f	LIAR	EC	GR	LIAR	LIAR	LIAR	LIMO	LISA-f
Intensité		EX	EX	EX	EX	EX	IN	EX	EX	SI	IN	IN	EX
Technique culturale		LP	BS	BS	BS	BS	LP	LP	BS	BS	BS	BS	BS
rendement grain	t ha ⁻¹	0.5	0.4	0.4	0.4	0.50	1.9	0.5	1.2	1.4	1.6	1.6	1.0
rendement résidus/fanes	t ha ⁻¹	1.2	1.0	0.9	1.0	1.04	0	0	0	0	0	0	0
Intrants													
main-d'œuvre familiale	hj	75	81	81	81	92	190	108	182	169	174	177	163
main-d'œuvre traction	hj	0	0	0	0	0	14	0	0	16	18	18	0
semences	kg ha ⁻¹	20	20	20	20	100	30	30	30	30	30	30	30
pesticides	l ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
biocides	kg ha ⁻¹	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6
Fertilisants (apports)													
MO	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	0	45	18	35	35	35	35	35
N	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	0	20	8	16	16	16	16	16
P	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	0	15	6	12	12	12	12	12
K	kg ha ⁻¹	0	0	0	0	0	1667	648	1284	1284	1284	1284	1284
Bilan													
MO	t ha ⁻¹	-2.3	-1.1	-1.6	-1.0	-1.1	-3.0	-0.5	-0.1	-0.8	-0.7	-1.8	-0
N	kg ha ⁻¹	-33	-15	-17	-16	-35	-104	-67	-47	-55	-55	-63	-44
P	.	-5	-3	-3	-3	-8	14	-3	14	13	13	15	15
K	.	-22	-16	-16	-18	-10	23	-11	8	14	23	17	2

Annexe du Chapitre 6

Annexe 6. Effets des différentes mesures politiques sur les objectifs de développement au niveau régional et comparaison avec le scénario perspective (SPI).

Indicateurs	Scénarios de références			Mesures politiques très incitatrices				Incitatrices				Peu incitatrices		Non-incitatrices	
	scénario perspective	scénario de base	scénario de base			Taxation du Bétail (VIII)	Taxation des pâturages communs (IX)								
	SPI	SB1	SB2	XI	II			VI	V	X	XII	I	VII	III	IV
Production par hectare (kg)															
Céréales	5779	991	988	1382	994	976	995	994	1009	1098	912	1015	981	947	1029
Coton	2042	1560	2073	1928	1995	2074	2099	1993	2018	2031	1383	2073	2060	1722	2092
Légumineuses	1520	447	480	470	452	432	416	454	451	451	1121	451	580	933	587
Production par habitant (kg)															
Céréales		239	304	346	280	298	322	281	304	358	352	356	304	276	390
Coton		287	668	819	728	669	689	726	713	688	577	664	726	346	615
Légumineuses		150	67	34	50	70	67	53	46	36	50	45	39	293	52
Revenu net par habitant (10³ F CFA)															
		47	54	71	60	54	52	61	57	57	52	55	54	56	57
Revenu net par hectare (10³ F CFA)															
		58	65	96	74	64	60	75	71	72	61	68	67	66	69

Au sujet de l'auteur

Keffing Sissoko est né le 8 janvier 1957 à Yatéra (Cercle de Kéniéba) dans le Sud-Ouest du Mali. Il fréquenta tout d'abord l'école fondamentale de son village natal, puis celle de la mission catholique de Kassama situé à 13 kilomètres de Yatéra. Après son admission au Diplôme d'Etudes Fondamentales (DEF) en 1972, il fut orienté au Lycée Askia Mohamed de Bamako d'où il obtient en 1975 le Baccalauréat série "sciences biologiques" (SB). Après son succès au baccalauréat il poursuit des études universitaires en France, tout d'abord à l'Université Paul Sabatier de Toulouse de 1975 à 1979, d'où il obtient la Maîtrise-ès-sciences et poursuit ensuite une spécialisation post-universitaire à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (IAM) d'où il obtient en 1981, le diplôme de spécialisation post-universitaire en Economie Rurale et Agro-alimentaire. Au titre de sa recherche, il publie un Mémoire intitulé "Bilan des relations Mali-CEE en termes économique et bioénergétique". De retour au Mali, il intègre la fonction publique en 1983 et fut affecté à l'Institut National de la Recherche Zootechnique Forestière et Hydrobiologique (INRZFH) comme agro-économiste au sein de l'unité de recherche sur les systèmes de production rurale du projet sectoriel de l'élevage volet recherche. Il travailla au sein de ce projet de 1983 à 1989, et a contribué au diagnostic des systèmes de production et à l'évaluation économique de l'activité d'embouche paysanne dans le Cercle de Banamba en zone semi-aride du Mali. De 1989 à 1991 il intègre l'équipe pluridisciplinaire du programme conjoint de recherche sur la production laitière périurbaine autour de Bamako (en zone subhumide du Mali) mise sur pieds par l'Institut d'Economie Rurale(IER) et le Centre International Pour l'Elevage en Afrique (CIPEA). Dans ce programme, il contribua à la caractérisation des différents systèmes d'élevage en zone périurbaine de Bamako, à l'étude des circuits de commercialisation, de l'acquisition et de la consommation du lait et produits laitiers par les ménages urbains de la ville de Bamako, et à l'évaluation du coût et de la rentabilité de la production laitière en zone périurbaine de Bamako. En 1991, il intègre le projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) à Niono en zone semi-aride du Mali. De 1992 à 1995 il fut coordinateur national du projet PSS, et contribua aussi aux travaux de l'équipe modélisation des systèmes du dit projet. En 1996, il fut nommé chef d'équipe systèmes de production et gestion des ressources naturelles du Centre régional de recherche agronomique de l'IER à Niono. En plus de ces travaux de recherches, l'auteur a eu aussi à participer en tant qu'agro-économiste à plusieurs missions, séminaires et activités diverses dont : l'appui socio-économique au projet Sahel-Soudan-Ethiopie (SSE) dans le Gourma malien en décembre 1989, membre du groupe de travail "systèmes de production et économie rurale" des commissions conjointes IER/ISNAR de réflexion sur la planification à long terme de la recherche agronomique au Mali en décembre 1988, formateur au séminaire-atelier de formation des agents de développement en zone Opération Haute Vallée du Niger (OHVN) en juin 1990 ; formateur au cours sur les méthodologies de recherche sur les ressources alimentaires du bétail organisé par le CIPEA à Bamako en avril 1993. Il est marié et père de 3 enfants.

