

PERSPECTIVES DE LA MODELISATION DES SYSTEMES AGRAIRES VILLAGEOIS L'exemple des régions cotonnières du Mali.

M.BENOIT-CATTIN*, P.CALKINS**, D.KEBE***, J-L.SABATIER****.

RESUME

La recherche agronomique doit se donner les moyens d'explicitier les conditions techniques, économiques, sociales et organisationnelles dans lesquelles l'agriculture des régions où elle intervient est susceptible de progresser techniquement et de se développer, ceci pour mieux évaluer les changements dans les politiques macro-économiques et sectorielles qui aideraient à créer ces conditions.

Le niveau d'approche proposé pour mobiliser l'information et les connaissances disponibles, par essence hétérogènes, est celui du système agricole local tel qu'il fonctionne à l'échelle des villages. La méthode de formalisation et de calcul retenue est la programmation linéaire bien adaptée pour choisir des activités complémentaires et concurrentes dans un contexte de contraintes sévères. Le cas d'un village du sud du Mali est traité. Il correspond à une situation évoluée avec des problèmes d'équilibre entre une culture de rente (coton) et des cultures céréalières, de relations agriculture-élevage, de pression démographique croissante etc.

L'écriture d'un modèle simplifié est décrite pas à pas. Les résultats sont discutés et plusieurs scénarios sont présentés et discutés pour illustrer les possibilités d'analyse et d'évaluation offertes par cette technique.

MOTS-CLES

Modélisation - Système agricole - Village - Programmation linéaire - Mali.

INTRODUCTION

Les institutions de recherche agronomique (nationales comme internationales) proposent des changements techniques nécessaires à la poursuite du développement économique des régions tropicales. L'évaluation du bien-fondé de ces propositions est une préoccupation ancienne mais, ravivée aujourd'hui, par les interrogations soulevées par les politiques macro-économiques dites d'ajustement structurel et leurs corollaires dans le domaine agricole.

Dans ce contexte, il est demandé aux chercheurs de mieux expliciter les conditions techniques, économiques, sociales et organisationnelles dans lesquelles l'agriculture des régions où ils interviennent est susceptible de progresser techniquement et de se développer. Il leur est également demandé d'examiner les changements de politiques macro-économiques et sectorielles qui aideraient à créer ces conditions.

L'information disponible pour répondre à ces questions se révèle très hétérogène. Il existe en effet très peu de bases de données sous forme d'échantillons paysans, soit synchroniques ; soit diachroniques. Pour surmonter les difficultés de l'analyse statistique appliquée à ces données qui s'y prêtent mal, la possibilité de recourir à la modélisation mathématique doit être envisagée.

Compte tenu de l'état des connaissances et des objectifs de ce type de recherche, le niveau du système agricole local a été retenu et à cette échelle la technique de modélisation mathématique la plus accessible est la programmation linéaire.

* CIRAD/DSA, Montpellier.

** Université de Laval, Québec.

*** IER/DRSPR, Mali.

**** CNEARC, Montpellier.

Ces options méthodologiques étant précisées dans une première partie, elles seront illustrées, dans une deuxième, par la présentation du modèle que nous avons construit et validé pour un village du sud du Mali.

Dans une troisième partie, quelques résultats de scénarios développés grâce à ce modèle en illustrent l'intérêt potentiel.

I — LE CADRE METHODOLOGIQUE

La caractéristique fondamentale des régions tropicales en développement est de connaître un accroissement rapide de leur population. De ce fait, à terme plus ou moins proche, la terre disponible pour l'agriculture devient limitante et le recours à l'intensification une nécessité. Or, globalement, la situation apparaît comme bloquée car malgré les efforts des organismes de vulgarisation, les techniques agricoles évoluent peu ou pas, la productivité agricole est au mieux stagnante...

Quel est le contenu technique de l'intensification ? Les techniques envisageables sont-elles adaptées aux capacités et moyens des paysans ? L'environnement économique et institutionnel incite-t-il à y avoir recours ?

Pour répondre à ces questions, l'information provient de plusieurs sources. Il peut s'agir de références techniques provenant d'enquêtes agronomiques ou d'expérimentations conduites en stations de recherche ou chez des paysans ; il peut s'agir également de résultats de recherches pluridisciplinaires sur les systèmes de production, de résultats d'enquêtes conduites dans le cadre d'opérations de développement ou de recherche-développement ; il peut s'agir enfin de statistiques agricoles et économiques plus générales. L'intégration de ces données de provenance et de forme hétérogènes constitue l'un des principaux défis de la recherche agro-économique appliquée.

Depuis la fin des années 1970, la notion de **système agraire** a été mise en avant au sein des institutions de recherche agricole en relation avec les problèmes liés au développement des régions défavorisées. Cela correspond à un emprunt à la géographie, il est également clair qu'un sens adapté a été donné à ce concept, compte tenu de son contexte de mise en œuvre et, d'un recours de plus en plus répandu à l'analyse systémique et pluridisciplinaire. On retiendra ici (JOUVE, 1988) qu'un système agraire est le système constitué par les trois grands éléments : un milieu naturel, le groupe social qui vit dessus, les techniques de mise en valeur pratiquées.

Autrement dit, un système agraire serait à l'intersection d'un écosystème, d'un système social et d'un système technique.

Bien sûr, ce système est ouvert sur l'extérieur, en relation avec «le reste du monde». Son évolution, sa dynamique s'expliquent, pour une large part, par des réponses, des adaptations à son environnement économique, climatique et institutionnel. Le principal ressort interne de cette dynamique est la démographie qui influe directement sur les besoins à satisfaire, la force de travail disponible et donc sur l'exploitation des ressources naturelles.

1. Délimitation du système agraire

Pour **délimiter un système agraire**, plutôt que de raisonner élément par élément, on analysera successivement ces éléments deux par deux.

Ainsi, en se posant la question de savoir quel sous-groupe social revendique quel territoire, on aura une première série de délimitations possibles correspondant à des extensions géographiques croissantes mais également une hétérogénéité elle-même croissante.

un territoire
homogène

En effet, le sous-groupe social vivant dans un hameau et le territoire reconnu de ce hameau sont probablement plus homogènes et cohérents que le village auquel ils appartiennent et que la nation toute entière (une nation pouvant également se définir comme un territoire et le groupe qui le revendique).

Soulignons, pour ce qui est de l'identification des sous-groupes sociaux, que d'une part chaque membre revendique son appartenance au groupe et que d'autre part l'existence de ce groupe est reconnue par les membres qui lui sont extérieurs. Il en est normalement de même pour le territoire revendiqué par ce groupe qui doit lui être reconnu par l'extérieur (sinon il y a conflit).

et un système de mise en valeur spécifique

Pour retenir une extension géographique plutôt qu'une autre, on se référera à la troisième composante du système agraire : le système de mise en valeur du milieu. Insistons sur la nécessité de la prise en compte des systèmes d'élevage dont le développement spatial conduit souvent à considérer un territoire et donc probablement un sous-groupe social plus étendu qu'on ne l'aurait fait du simple point de vue agricole (végétal). De même la prise en compte des aménagements hydro-agricoles conduit à retenir une extension géographique spécifique. Dans les situations d'agriculture irriguée, on se situe à une échelle en cohérence avec le fonctionnement du système d'irrigation : par exemple, le périmètre irrigué.

correspond à un système agraire local

Pour concilier les exigences de précision, de spécificités écologiques, sociales et techniques et celles de représentativité, on s'intéresse au système agraire local correspondant au minimum à un ou quelques villages mitoyens et au maximum à une petite région facilement identifiable.

la mise en valeur agricole différencie des terroirs

Si le territoire correspond à une portion d'espace revendiqué par un groupe social, le terroir correspond à une portion d'espace qui se différencie des voisins par son mode de mise en valeur agricole. Un terroir peut donc traverser plusieurs territoires villageois alors que dans un territoire on peut trouver différents types de terroirs.

En Afrique soudano-sahélienne de nombreuses études ont mis en évidence différents terroirs dont l'identification repose sur une combinaison de critères morfo-pédologiques (bas-fonds, glacis de raccordement...) et de différentes pratiques de gestion de la fertilité (parcage saisonnier, épandage de fumier, jachère plus ou moins longue...).

L'observation des paysages et l'analyse des suivis de parcelles montrent que l'hétérogénéité entre terroirs est beaucoup plus grande qu'entre exploitations. Les techniques étant assez peu diversifiées, l'hétérogénéité du milieu s'impose à toutes les unités de production. Une des différences fondamentales entre parcelles tient au mode de gestion de la fertilité, lui-même en relation avec les systèmes d'élevage.

2. Approche économique

le système agraire permet de prendre en compte

Si, pour des raisons théoriques autant qu'idéologiques, il est difficile de définir le champ d'une science économique, la pratique pluridisciplinaire autour d'un même objet, le système agraire, permet de préciser la spécificité d'un point de vue économique. Ce point de vue est conforme aux pratiques des économistes considérés comme les adeptes d'une science des ajustements (de l'offre à la demande, de la production à la consommation, des termes de la balance des paiements, des ressources aux emplois etc.).

l'ajustement des ressources et des emplois

Ainsi l'économiste abordant un système agraire sera préoccupé de la façon dont la production s'ajuste à la consommation, dont les revenus couvrent les dépenses, dont les systèmes productifs correspondent aux aptitudes du milieu et aux capacités des paysans... plus généralement comment s'ajustent ressources et emplois ; cet ajustement ayant lieu dans le cadre de contraintes sévères.

Pour l'économiste il s'agit de confronter des ressources disponibles aux capacités de mise en valeur par les ruraux en fonction de leur comportement économique face à leur environnement économique.

par la technique de la "programmation linéaire"

L'approche micro-économique de l'exploitation, en termes de modèles, utilise deux groupes de techniques (1) les unes se rattachant à l'économétrie, les autres à la recherche opérationnelle. Parmi les techniques de recherche opérationnelle, la programmation linéaire, bien connue des économistes agricoles, permet l'ajustement optimal des ressources aux emplois en présence de contraintes sévères ; sa mise en oeuvre à l'échelle d'un système agraire local ne pose pas de problème conceptuel majeur.

(1) Ces techniques sont développées dans de nombreux ouvrages tels que BOUSSARD *et al.* (1977), CSAKI (1985), HAZELL (1986) et SINGH (1986).

Si, à l'origine, la programmation linéaire a été utilisée de façon normative, d'où un certain désintérêt de la part des analystes, son utilisation «positive» est permise par l'évolution des matériels et des logiciels qui en rendent l'utilisation très peu coûteuse, très flexible, presque «conversationnelle».

utilisée souvent à l'échelle de l'exploitation

D'après EICHER et BAKER (1982), plusieurs modèles de programmation linéaire ont été utilisés dans l'agriculture africaine. La plupart de ces modèles sont dits d'exploitation-type en vue de mesurer la rentabilité économique des différentes spéculations agricoles retenues par l'exploitant sous des contraintes de ressources.

La première application de la programmation linéaire dans l'agriculture africaine aurait été réalisée par CLAYTON au Kenya, en 1961. Cependant EICHER et BAKER signalent que c'est à partir des années 1970 que les modèles de programmation ont pris un essor important dans l'étude des petites exploitations agricoles. Ils citent plusieurs auteurs auxquels il faudrait ajouter BOUSSARD et al. 1977, BROSSIER et JAGER, 1984.

L'une des limites de cette approche des petites exploitations ou d'exploitation-type est, selon ces auteurs, la difficile généralisation des résultats individuels au niveau des politiques nationales ou régionales de développement agricole.

D'autres modèles ont été appliqués au niveau macro-économique en vue d'orienter les programmes de planification sectorielle très souvent symbolisés selon CAMBREZY et al. (1984) par des «tableaux économiques d'ensemble ou par des matrices d'échanges intersectoriels des comptes nationaux ne permettant pas la mise en évidence des disparités internes».

La modélisation en programmation linéaire d'un système agraire local, bien que très peu pratiquée, est assez similaire à celle d'une exploitation agricole.

mais pouvant se transposer au niveau système agraire villageois

Dans un modèle d'exploitation agricole, les activités de production envisageables sont en compétition vis-à-vis de ressources limitées ou coûteuses (terre, travail, équipement, intrants). Le choix des activités et de leur niveau est donné par la solution du modèle obtenue lorsqu'une fonction objectif adéquate est spécifiée.

En se plaçant au niveau du système agraire local, on cherche à prendre en compte l'essentiel de la gamme de milieux et de techniques existantes et possibles localement ainsi que les systèmes d'élevage.

Le fonctionnement spatio-temporel des élevages déborde généralement le cadre de l'exploitation agricole alors qu'ils jouent un rôle clé dans les processus de gestion de la fertilité, d'utilisation des sous-produits de récolte, de mise en valeur des zones non cultivables et des jachères, de fourniture d'animaux de trait, de consommation humaine etc.

niveau méso-économique

Notre échelle de travail, le système agraire villageois, se situe ainsi à un niveau «méso-économique» intermédiaire entre la micro-économie (exploitation agricole) et le niveau des agrégats macro-économique.

En se plaçant à ce niveau on simplifie la prise en compte des problèmes d'accès à la terre et à la main-d'œuvre. La somme algébrique des échanges de travail et de terre entre exploitations d'un même lieu est normalement nulle. Ces échanges servent en premier à compenser l'inégale répartition de ces facteurs, à les mobiliser au mieux à l'échelle du groupe social concerné. Ainsi, par exemple, au moment des récoltes toute la main d'œuvre locale travaille dans les champs quel que soit son mode de rémunération, son statut social, la taille de son exploitation d'origine etc.

Par contre, pour un modèle de taille identique, on est conduit à mieux identifier les interfaces entre le système agraire local et l'extérieur, «le reste du monde» : produits entrant et sortant, travail entrant et sortant, revenus transférés etc.

lieu d'interactions

En effet, les réflexions théoriques sur les économies paysannes en voie d'insertion croissante dans une économie de marché soulignent la nécessité de prendre en compte les interactions entre les activités de production agricole, de consommation et les possibilités de valorisation alternatives du travail. La programmation linéaire permet de considérer ces interactions en explicitant, en plus des seules activités agricoles, des activités de consommation et d'échanges avec l'extérieur que ce soit pour les produits, les intrants ou le travail.

Dans les sociétés ouest-africaines, les centres de décision ne coïncident pas forcément (BENOIT-CATTIN, 1981). Les individus ont l'initiative de leurs dépenses monétaires, la production n'est pas organisée comme la consommation ou comme la préparation des repas et la possession et la gestion des animaux se fait à d'autres niveaux. En raisonnant à l'échelle du système agraire villageois, on englobe ces différents niveaux d'organisation.

La «validation» de la représentation d'un système connu se fait en rendant compte de son état actuel ou de quelques états passés connus : en conformité avec les incitations exogènes correspondantes en n'imposant aucune contrainte abusive d'assolement ou d'autoconsommation par exemple et en permettant des pratiques agricoles plus et moins intensives que celles observées. Moyennant quoi les réactions simulées d'un modèle ainsi validé, à des changements dans les prix ou à l'introduction d'une spéculation inconnue, peuvent avoir une signification.

II — LA CONSTRUCTION DU MODELE «FONSEBOUGOU»

Le village de Fonsébougou est situé dans la frange sud de la zone Mali-Sud et fait partie d'un ensemble de quatre villages qui ont fait l'objet de recherches depuis plus d'une décennie (KLEENE et al., 1989).

La population de ce village est dominée par l'ethnie senoufo dont l'activité principale est traditionnellement l'agriculture. Cependant une nouvelle fonction d'agro-éleveur est apparue grâce à la culture attelée bovine et aux revenus procurés par le coton qui ont permis la constitution d'un noyau d'élevage associé aux exploitations agricoles.

Le village compte plus de 1000 habitants répartis entre plusieurs familles qui sont considérées comme «les plus grandes unités sociales qui regroupent l'ensemble des ménages reconnus comme descendants d'un même ancêtre» (KLEENE, 1989). Les concessions, ou unités d'habitation, quant à elles regroupent une ou plusieurs unités familiales constituant les exploitations agricoles qui peuvent prendre des formes simples ou composées.

un village image
d'une évolution

Ce village a été choisi car l'un des auteurs a participé aux recherches, aussi bien au niveau des exploitations qu'au niveau du village, sur les relations agriculture-élevage et sur la préservation des capacités productives de la terre. On peut considérer par ailleurs que ce village anticipe sur l'évolution technique et agraire de la zone.

impliquant des
changements

Globalement ce village a atteint une limite, un seuil : tout le cultivable est cultivé, toutes les familles cultivent du coton et ont recours à la culture attelée ; les troupeaux acquis avec les revenus du coton sont nombreux et pèsent de plus en plus sur les ressources végétales alors que les sols sont menacés. On est bien dans une situation de contraintes sévères, où, pour changer l'allocation des ressources, il faut agir sur ces contraintes.

ayant des données
disponibles

Les données disponibles pour modéliser le système villageois sont, pour certaines, exhaustives au niveau du village et, pour d'autres, relevées au niveau de neuf exploitations suivies de façon rapprochée. Pour ce qui est des nouvelles techniques, les informations proviennent pour l'essentiel d'essais et de tests conduits chez les paysans dans le cadre d'actions de recherche-développement.

Sur l'ensemble du village on dispose d'une enquête démographique de 1981, du recensement du matériel agricole de la même période, du recensement des troupeaux de bovins, d'ovins - caprins et d'animaux de trait et d'une esquisse planimétrique des surfaces totales du village (ARNAUDIN, 1981).

Pour quelques exploitations suivies on dispose des rendements moyens par spéculation (BERCKMOES et al., 1988) et des résultats exhaustifs d'un suivi pluri-annuel. (IER/DRSPR, 1980 - 1989, BERCKMOES et al., 1989, LELOUP et TRAORE, 1989).

Les différentes actions de recherche-développement ont porté sur :

et des actions de R/D

- L'amélioration de la production de fumure organique venant en complément ou en substitution aux engrais minéraux importés à travers une amélioration de la conduite des animaux,

- L'introduction d'une culture fourragère à base de niébé dans l'assolement ;
- L'introduction d'une sole fourragère à base d'espèces pérennes sur jachères de courte durée ;
- L'étude des pâturages (zones de parcours et de culture).

et des
expérimentations en
milieu paysan

Des expérimentations en milieu paysan ont également porté sur l'utilisation d'une dose moyenne de 5 tonnes/ha de fumier combiné à la fumure minérale vulgarisée au niveau d'un système de culture de type associatif (rotation biennale et/ou triennale) et sur la fertilisation de l'association maïs/mil.

Dans l'ensemble, les données quantitatives disponibles sont assez pauvres et impropres à l'analyse statistique. Ceci a conduit à construire un modèle très simplifié dont les différentes composantes vont être explicitées.

1. Le système de culture

Les différentes activités de production retenues au niveau du modèle sont, d'une part une simplification de celles pratiquées par les agriculteurs et, d'autre part l'introduction de certaines alternatives qui ont fait l'objet d'expérimentations au niveau du village par la recherche et sont en voie de diffusion par les services de vulgarisation.

Pour pouvoir débattre de ce qui incite les paysans à intensifier ou extensifier, on a retenu, pour les activités de productions végétales décrites dans le système de culture, différents niveaux d'intensification à base de consommations intermédiaires d'origine industrielle (engrais minéraux) ou autofournies (fumure organique). Par souci de simplification, les activités de production végétale ont été réparties en trois groupes :

- Les techniques dites «actuelles» correspondent à celles qui sont pratiquées par les paysans et donc à celles qui sont vulgarisées pour le coton ;
- Des techniques dites «plus intensifiées» à base de consommations intermédiaires ;
- Des techniques dites «extensives» où on substitue la fumure organique autofournie à la fumure minérale dans un souci de minimiser les coûts, mais avec des rendements moindres.

Aucune contrainte d'assolement n'a été introduite a priori, seule une vérification *a posteriori* de la faisabilité des assolements proposés par la résolution du modèle a été faite.

a) Les techniques actuelles

Les spéculations sont pour l'essentiel le coton, l'association maïs, le maïs/petit-mil, le sorgho et le niébé fourrager. Les techniques culturales sont dans l'ensemble les mêmes que celles pratiquées avec des variations au niveau de la fertilisation.

- Le coton II (COT2) (2)

Il s'agit de la culture du coton recevant la fumure minérale vulgarisée: apport de 150 kg par hectare d'engrais complexe (14 - 22 - 12) et 50 kg par hectare d'engrais urée avec un niveau de rendement de l'ordre de 1 450 kg par hectare de graines de coton par hectare correspondant au rendement moyen observé au niveau des exploitations.

- Le maïs II (MAIS2)

Le maïs est cultivé en culture pure avec un apport de la dose vulgarisée : 100 kg par hectare d'engrais complexe et 150 kg par hectare d'urée, soit 83N - 22P2O5 - 18K2O ; le niveau de rendement est de l'ordre de 1 500 kg de grains par hectare.

- Le sorgho

Cette spéculations ne bénéficie d'aucune fertilisation ni minérale, ni organique. Cependant, sa position dans la rotation, après le coton ou le maïs, est susceptible de le faire bénéficier des arrières-effets des engrais apportés sur ces cultures. Le rendement actuel est de l'ordre de 800 kg/ha.

- Le maïs/petit-mil I (MAIS PM1)

En l'absence de données sur la fertilisation de cette association, on a retenu l'application de la moitié de la dose de fertilisation du maïs en culture pure pour rendre compte de la pratique actuelle des agriculteurs. En effet, des enquêtes, effectuées en 1985 et reprises en 1986, ont montré une forte

des techniques
actuelles se
différenciant par leur
niveau de fertilisation

(2) Les noms entre () sont les noms des variables dans le modèle.

variabilité des pratiques de fertilisation allant d'une culture associée sans aucun apport à une culture où l'on apporte la dose vulgarisée sur la culture pure. La dominante étant la faible dose vue la faible exigence du petit-mil, les rendements cumulés sont de l'ordre de 1 400 kg par hectare en moyenne.

Les apports de fertilisants sont de 50 kg par hectare d'engrais complexe et 75 kg par hectare d'engrais urée.

b) Les techniques plus intensifiées

Il s'agit des activités bénéficiant d'une fertilisation organo-minérale combinant la dose d'engrais minéraux et un apport complémentaire de fumier dans un souci d'entretien de l'humus du sol par référence aux essais fumier en milieu paysan. Ces techniques de fertilisation seraient susceptibles d'être adoptées lorsqu'un certain niveau d'intégration de l'élevage à l'agriculture est atteint.

- Coton III (COT3)

Cette culture reçoit une combinaison de la fertilisation minérale vulgarisée, 150 kg par hectare d'engrais complexe plus 50 kg d'urée par hectare et un apport de 5 000 kg de fumier ; elle donne un rendement de l'ordre de 1 600 kg de graines de coton (d'après des essais fumier en milieu paysan).

- Maïs en culture pure III (MAIS3)

Cette spéculation étant considérée comme une culture de rapport de diversification, nous avons envisagé un niveau d'intensification assez élevé avec une fertilisation organo-minérale élevée dans un souci d'entretien de l'humus du sol.

Un apport de la dose vulgarisée sur maïs en culture pure, plus 5 000 kg de fumier par hectare avec un rendement de l'ordre de 2 000 kg de grains et de 4 000 kg de pailles par hectare.

- Maïs-petit-mil en culture associée MPM II (MAIS PM2)

L'association reçoit un apport de fumure minérale à la dose vulgarisée sur le maïs en vue d'améliorer les performances du maïs même si ceci devrait se faire au détriment du petit-mil ou mil Pénisétum, soit 100 kg d'engrais complexe et 150 kg d'urée par hectare ; les rendements cumulés sont de l'ordre de 1 800 kg de grains et de 5 000 kg de paille par hectare.

La récapitulation des besoins en engrais minéraux est faite dans le modèle en distinguant l'achat d'engrais composé (ACHENGR) et celui d'urée (ACHUREE) et s'écrit pour le logiciel «Lindo» sous la forme de deux contraintes :

BES_NPK) 150 COT2 + 150 COT3 + 100 MAIS2 + 100 MAIS3 + 50 MAISPM1 + 100 MAISPM2
- ACHENGR <= 0

BES_UREE) 50 COT2 + 50 COT3 + 150 MAIS2 + 150 MAIS3 + 75 MAISPM1 + 150 MAISPM2
- ACHUREE <= 0

c) Les techniques dites extensives

On rend possible une éventuelle substitution totale de la fumure organique (fumier) aux engrais minéraux avec des performances légèrement inférieures aux autres techniques et avec des coûts monétaires inférieurs.

- Le coton I (COT1)

Ce coton reçoit 5 000 kg de fumier par hectare sans engrais minéraux et donne un rendement de l'ordre de 900 à 1 000 kg de grains par hectare.

- Le maïs I (MAIS1)

Apport de 5 000 kg de fumier par hectare sans apport d'engrais minéraux et donne un rendement de l'ordre de 1 200 kg de grains par hectare de maïs et 2 400 kg de paille par hectare.

des techniques
d'intensification
s'appuyant sur
l'association
agriculture-élevage

L'extensification
accepte des
performances
inférieures

2. Le système d'élevage

Le système d'élevage a été modélisé de la façon la plus simple tout en veillant à rendre compte des interactions entre agriculture et élevage.

Les parcours et les jachères ont été considérés comme des activités qui produisent du fourrage consommé par l'activité élevage à différentes périodes de l'année.

Une seule activité élevage consomme du fourrage et produit de la fumure organique et des bovins de trait, pour les activités agricoles.

a) Les ressources fourragères

Le niébé fourrager (NIEBE)

Cette spéculatation a été introduite récemment par la recherche. Son adoption semble rencontrer un certain nombre de difficultés d'ordre technique amenant dans certains cas à la reconversion des parcelles en niébé grains. Dans la pratique elle ne bénéficie d'aucun apport de fertilisant et donne un rendement de l'ordre de 2 000 kg de matière sèche de fourrage par hectare.

sont cultivés :
niébé ou stylosanthès

Le *Stylosanthès hamata* associé au *Brachiaria* (STYLO)

Cette culture fourragère à base d'espèces pérennes est d'introduction récente sur des jachères de courte durée de l'ordre de 4 à 5 ans.

Il s'agit en fait de deux espèces, une légumineuse *Stylosanthès hamata* et une graminée *Brachiaria ruziziensis*, semées en lignes. Les interventions sont limitées au labour et au semis.

Les fourrages sont pâturés sur pied. Les rendements sont de l'ordre de 6 000 kg de matière sèche par hectare. Les semences sont supposées achetées dans le modèle alors que des possibilités d'auto-fourniture de semences ont été testées.

Les parcours (PARCOURS)

Les parcours, comme déjà évoqué, correspondent aux zones non cultivables et sont constituées d'espèces fourragères de faible qualité. La productivité en fourrage est estimée à 1 700 kg de matière sèche par hectare, par an, avec une teneur de l'ordre de 0,15 à 0,2 unité fourragère par kilogramme de matière sèche produite.

Les jachères (JACHERE)

Elles sont situées sur les zones cultivables et ont une productivité de l'ordre de 2 600 kg de matière sèche par hectare, par an, pour la strate herbacée (LELOUP, TRAORE, 1989) et des teneurs en UF de l'ordre de 0,35 à 0,4 par kilogramme de matière sèche produite.

b) L'élevage (ELEV)

L'activité élevage est exprimée en UBT (unité bovin tropicale). Elle consomme des pailles de céréales, du fourrage produit sur les parcours, les jachères et sur les soles fourragères en fonction des différentes périodes ; elle produit du fumier et des bovins destinés à l'attelage.

Nous avons établi un calendrier d'affouragement étalé sur trois périodes en fonction des disponibilités fourragères. Tous les fourrages sont exprimés en UF (unités fourragères). Les besoins sont calculés par référence aux normes retenues dans le «mémento à l'usage de l'encadreur : intégration agriculture-élevage» (CMDT/IER -1987) : besoins d'entretien, de travail fort et de croissance pour les bovins de trait et les besoins d'entretien et de travail léger pour les autres troupeaux.

Le ratio bovin de trait sur autres bovins est de l'ordre de 0,3 pour le village de Fonsébougou.

Le calendrier d'affouragement retenu est une adaptation simplifiée de LELOUP et TRAORE (1989).

un calendrier
d'affouragement
précis

Période I : novembre à février

L'essentiel de l'alimentation du bétail est constitué par les sous-produits de culture, en grande partie, les pailles de maïs et une faible proportion des pailles de sorgho ; une bonne partie des jachères naturelles et une faible proportion des parcours.

Période II : mars à juin

L'essentiel du fourrage est constitué par celui des jachères et éventuellement du stylosanthes, presque pas de sous-produits. Les jachères étant réduites dans l'espace et dans le temps (suite à l'extension des superficies cultivées), c'est la période la plus contraignante pour l'alimentation des animaux.

mettant en exergue
trois contraintes

Période III : juillet à octobre

Les animaux sont sortis de la zone de culture et se nourrissent essentiellement sur les parcours (3).

L'écriture de ce calendrier fourrager se fait sous forme de trois contraintes pour le logiciel «Lindo» :

- UF_NOFEV) - 1200 STYLO - 367 MAIS1 - 467 MAIS2 - 633 MAIS3 - 467 MAISPM1 - 633 MAISPM2 - 150 SORGHO - 500 JACHERE - 44.5 PARCOURS + 476 ELEV + 476 BOVTRAIT ≤ 0

- UF_MARJU) - 1900 STYLO - 1400 NIEBE - 500 JACHERE - 10 PARCOURS + 476 ELEV + 476 BOVTRAIT ≤ 0

- UF_JUOCT) - 93 STYLO - 40 JACHERE - 212.5 PARCOURS + 476 ELEV + 952 BOVTRAIT ≤ 0

c) Les relations agriculture-élevage

Compte tenu des relations de complémentarité et de concurrence entre l'activité de production animale et les activités de productions végétales, un certain nombre de contraintes ont été retenues au niveau du modèle.

des complémentarités
permettant d'établir
des "contraintes
d'équilibre"

Les relations de complémentarité s'expriment par la production fourragère sur la zone de culture (sous-produits de récoltes, sole fourragère) à destination des productions animales et par la production de fumure organique et de bovins de trait à destination des productions végétales, d'où l'introduction dans le modèle des contraintes d'affouragement, de fertilisation à base de fumier, pour les activités qui en consomment, et d'attelage (force de traction).

La contrainte d'équilibre entre la production maximum de fumier par les animaux du troupeau et les animaux de trait et les besoins des différentes cultures s'écrit :

- BES_FUMO) 5000 COT1 + 5000 COT3 + 5000 MAIS1 + 5000 MAIS3 - 1000 ELEV - 1000 BOVTRAIT ≤ 0

La contrainte d'équilibre entre les ressources en paille et les besoins pour fabriquer du fumier s'écrit :

- BES_PAIL) - 600 MAIS1 - 750 MAIS2 - 1000 MAIS3 - 750 MAISPM1 - 1000 MAISPM2 - 3700 SORGHO + 700 ELEV + 700 BOVTRAIT ≤ 0

Les relations de concurrence sont en grande partie liées à l'extension des superficies cultivées au détriment des jachères ne permettant pas aux effectifs animaux de se maintenir au niveau du système.

Les coefficients de consommation d'attelage pour une culture sont fonction de son intensité ; le coton et le maïs demandant plus d'attelage que les autres activités, ont un coefficient plus élevé.

- BES_TRAC) 0.4 COT1 + 0.4 COT2 + 0.4 COT3 + 0.1 STYLO + 0.4 MAIS1 + 0.4 MAIS2 + 0.4 MAIS3 + 0.2 MAISPM1 + 0.2 MAISPM2 + 0.1 SORGHO + 0.1 NIEBE - BOVTRAIT ≤ 0

Ces coefficients sont calculés sur la base d'une moyenne observée de 5 hectares par paire de bovins de trait.

3. La population

L'absence de données précises sur l'évolution démographique du village nous a conduit à endogénéiser la variable démographique au modèle, ce qui en accroît la flexibilité et la valeur heuristique. Les données d'enquête permettent de la situer aux environs de 1 100 habitants ;

Cette population fournit de la force de travail et a des besoins de consommation.

(3) Pour les pailles de maïs, nous sommes partis de l'hypothèse que 50 % d'entre elles sont récupérables pour des fins fourragères avec 0,4 UF par kilogramme de matière sèche de paille de maïs.

a) La force de travail

Les observations de terrain montrent que lorsque la culture attelée est généralisée, comme à Fonsébougou, la période des récoltes est la plus contraignante. La mobilisation de toutes les ressources disponibles, enfants et personnes âgées pendant cette période confirme cette contrainte. Dans le modèle deux sous-périodes ont été retenues :

mobilisé au maximum en période des récoltes

- La sous-période de septembre correspond à la récolte du maïs, du niébé fourrager et d'une faible proportion de coton à la fin de la troisième décennie du mois ;

- La sous-période de novembre correspond à la récolte du coton et du sorgho-mil.

Les temps de travaux utilisés sont la synthèse des résultats de BROSSIER et JAGER (1984) au Mali, de MATLON (1988) au Burkina Faso et de SABATIER (1988) au Malawi.

Pour cette période de récolte, les échanges de travaux entre les différentes catégories d'exploitations sont tels que les inégalités s'équilibrent par le biais des associations au niveau du village alors que le recours à la main d'œuvre extérieure est très rare. Compte tenu de la réalité observée il n'a pas été explicité d'activités de vente ou d'achat de travail à l'extérieur.

Deux contraintes correspondent aux deux sous-périodes retenues :

- TRAV_RCE) $4 \text{ COT1} + 5 \text{ COT2} + 6 \text{ COT3} + 42 \text{ MAIS1} + 44 \text{ MAIS2} + 47 \text{ MAIS3} + 34 \text{ MAISPM1} + 38 \text{ MAISPM2} + 66 \text{ NIEBE} - 15 \text{ POPULATN} < = 0$
- TRAV_RCO) $35 \text{ COT1} + 54 \text{ COT2} + 63 \text{ COT3} + 7 \text{ MAISPM1} + 7 \text{ MAISPM2} + 25 \text{ SORGHO} - 18 \text{ POPULATN} < = 0$

b) Les besoins de consommation alimentaire

se concrétisent par les besoins en céréales

Les interactions entre production et consommation humaine se situent essentiellement au niveau des céréales. Pour tenir compte des habitudes alimentaires locales on a considéré que ces céréales, à raison de 200 kg par habitant, peuvent provenir des activités produisant des mils et des sorghos ; le maïs rentrant peu dans l'alimentation, on a autorisé une consommation en maïs pouvant atteindre les 10 % du total consommé ; pour ne pas risquer de forcer l'autoconsommation on a prévu l'achat de céréales à l'extérieur.

L'ensemble des contraintes correspondantes s'écrit ainsi :

- BIL_MIL) $- 500 \text{ MAISPM1} - 500 \text{ MAISPM2} + \text{CONSMIL} + \text{VENMIL} < = 0$
- BIL_MAIS) $- 1200 \text{ MAIS1} - 1500 \text{ MAIS2} - 2000 \text{ MAIS3} - 1500 \text{ MAISPM1} - 2000 \text{ MAISPM2} + \text{CONSMAIS} + \text{VENMAIS} < = 0$
- BIL_SORG) $- 800 \text{ SORGHO} + \text{CONSORG} + \text{VENSORG} < = 0$
- CONS_CER) $200 \text{ POPULATN} - \text{CONSMIL} - \text{CONSMAIS} - \text{CONSORG} - \text{ACHCER} < = 0$
- LIM_CMAI) $- 20 \text{ POPULATN} + \text{CONSMAIS} < = 0$

c) Les besoins monétaires

Les besoins monétaires, autres que ceux correspondant à l'achat de céréales ou d'intrants, sont pris en compte dans le modèle par la «fonction d'objectif» que les habitants du village cherchent à maximiser à l'échelle d'une année.

la fonction objectif

Par hypothèse, le choix des combinaisons productives par les agriculteurs répond à un objectif d'obtention d'un résultat maximum dont une bonne approximation semble être le revenu monétaire disponible après paiement des intrants achetés (semences, engrais, insecticides) et satisfaction des besoins alimentaires de base en céréales.

Les revenus et les dépenses dépendent du niveau des prix des produits et facteurs et donc de l'environnement économique.

4. L'environnement économique

Nous avons utilisé dans le modèle le prix officiel d'achat au producteur pour le coton qui n'a pas évolué depuis 1985 et le prix de vente des céréales observé sur le marché céréalier, prix moyen pour l'ensemble de la région administrative de Sikasso pour les différentes spéculations cérésières (résultat d'une enquête agricole dite de conjoncture effectuée par le Ministère du Plan du Mali en

les prix et les coûts
sont attribués
d'après l'observation

1987). Ces prix sont de 38F CFA pour les mils *Penisetum*, 36F CFA pour les sorghos et 34F CFA pour les maïs. Le prix « officiel » de 55 francs est identique pour ces trois produits et a été retenu comme prix d'achat.

Les activités de productions fourragères font l'objet d'une valorisation indirecte à travers l'activité élevage, elle-même valorisée d'une manière indirecte en fournissant la fumure organique et la traction animale pour les productions végétales qui, en contre partie, fournissent des fourrages (pailles de maïs exprimées en UF) et de la litière (pailles lignifiées de sorgho-mil).

Pour le surplus de viande vendu a été attribué un prix moyen de 350F CFA par kilogramme de viande proche du prix moyen observé au niveau du marché local le plus proche du village (marché de DOUMANABA). De même a été émise l'hypothèse d'un gain de poids de 50 kilogrammes par UBT par an (d'où un revenu monétaire moyen de 17 500 francs par tête).

Tous les coefficients de prix et de coûts apparaissent dans la fonction objectif qui s'écrit ainsi :
MAX - 8515 COT1 - 15515 COT2 - 15515 COT3 - 5000 STYLO - 155 ACHENGR - 145 ACHUREE
- 55 AHCER + 17500 ELEV + 34 VENMAIS + 38 VENMIL + 36 VENSORG + 84 VENCOTON

III — LA SOLUTION DE BASE

correspond à la
combinaison optimale
des techniques
actuelles

L'obtention d'une solution de base conforme à la situation réelle est une étape importante dans la construction et la validation d'un modèle. Tel que le modèle a été construit, en conformité avec ce que l'on sait de la réalité étudiée, son calibrage dépend principalement des contraintes de travail et du calendrier d'affouragement. Plusieurs retouches ont effectivement été nécessaires pour obtenir une solution satisfaisante rendant compte de l'état de « saturation » de ces contraintes. Cette solution correspond à une combinaison optimale des techniques actuellement pratiquées par les paysans de Fonsébougou et ce, sans contrainte sur leur niveau d'équipement. Le manque de données disponibles au niveau de l'ensemble du village ne permet pas de calibrer le modèle avec une grande précision.

La valeur atteinte par la fonction objectif correspond à un revenu monétaire par habitant moyen de 42 820 F CFA, ordre de grandeur tout à fait réaliste.

La superficie cultivable se partage à peu près également entre la jachère (55 %) et les cultures (45 %) ; autrement dit, la jachère durerait en moyenne aussi longtemps que la rotation culturale.

La superficie est cultivée à 65 % en céréales et 35 % en coton à raison respectivement de 0,49 ha et 0,26 ha par habitant. Cette importance des céréales dans l'assolement permet de dégager un surplus en maïs commercialisable de 416 tonnes pour une autoconsommation de 220 tonnes.

Les céréales sont principalement cultivées selon les techniques actuelles de l'association maïs-petit-mil (40 % des superficies en céréales) et du sorgho (26 % des céréales), le maïs I (sans engrais, avec fumier) représentant 34 % du total des céréales.

Le coton est cultivé essentiellement selon les normes vulgarisées (COT II), 14 % des surfaces l'étant de façon extensive (COT I).

Pour l'élevage, le modèle propose 885 UBT pour le troupeau et 246 bovins de trait.

et montre le blocage
du système

L'analyse de sensibilité par rapport aux coefficients de la fonction objectif, ici les coûts des facteurs et des produits, révèle dans l'ensemble une grande stabilité de la solution correspondant bien au caractère bloqué déjà mentionné de la situation étudiée.

même si certains
facteurs varient

Ainsi, la structure de la solution ne serait pas changée pour des prix de l'engrais NPK compris entre 210 et 103 F et de l'urée compris entre 205 et 104 F. Cette rigidité peut s'expliquer par l'aspect contrasté des activités alternatives, une approche plus précise des effets des prix des engrais impliquerait l'introduction de techniques plus nuancées couvrant une gamme moins discontinue de niveaux de fumures.

L'examen de ces coefficients montre également que la valorisation de l'élevage (17 500 F par UBT) pourrait être réduite de moitié. Ce résultat illustre l'importance de la valorisation indirecte de l'élevage par le biais de la traction et de la fumure.

La solution se révèle assez stable par rapport au prix du coton qui pourrait fluctuer entre 70 et 164 F sans que la structure de la solution soit altérée.

Le prix du maïs pourrait fluctuer entre 28 et 44 F alors que la vente de mil ou sorgho serait déclenchée par un prix de 45 F.

IV — QUELQUES SCENARIOS

Face à une situation agraire bloquée, le problème pour la recherche-développement est de proposer des alternatives susceptibles de la débloquer, c'est à dire d'agir plus ou moins directement sur les contraintes majeures qui ont été bien identifiées dans un modèle.

Le modèle a été construit avec le minimum de contraintes exogènes : la superficie cultivable, la superficie en parcours et la population. Il est d'ailleurs possible de lever deux de ces trois contraintes pour, par exemple, décrire le village idéal pour une population donnée. On peut inversement ajouter certaines limitations supplémentaires pour en tirer les conséquences. Ainsi le modèle calculant le nombre de charrettes nécessaires pourra être borné afin d'évaluer les conséquences d'un sous-équipement des paysans en moyens de transport.

Dans la description des activités du modèle ont été prévues des activités décrivant des techniques en cours de test ou de pré vulgarisation comme le niébé et le Stylosanthès. Une fois établie la solution de base qui n'envisage pas ces activités on peut les rendre possibles et ainsi évaluer leur intérêt et leur impact potentiel.

De façon complémentaire on peut jouer sur certains coefficients techniques du modèle pour simuler des modifications techniques en cours d'expérimentation comme l'amélioration des parcs pour la fabrication de fumier.

On peut également, comme le suggère l'analyse de sensibilité, modifier certains coefficients de la fonction objectif pour évaluer les effets des changements de prix des produits ou des facteurs.

• Conséquences d'un sous-équipement en charrettes

La solution de base nécessitant 155 charrettes au niveau du village, on a testé l'effet d'une limitation de leur nombre à 100.

Il en résulterait une légère réduction de 4 % de la superficie cultivée, ce qui permettrait une augmentation à peu près équivalente des effectifs bovins. Les revenus de l'élevage compenseraient en partie une baisse de 25 % des ventes de céréales et de 9 % de celles de coton. Les volumes vendus baissent plus que les superficies ce qui exprime une tendance à l'extensif, à la réduction des dépenses d'engrais.

• Les effets du stylosanthès

Si on autorise le stylosanthès et le niébé fourrager on constate que le niébé n'est pas cultivé alors que le stylosanthès modifie profondément le système. Cela était prévisible puisque le stylosanthès intervient sur la contrainte fourragère de la période mars à juin qu'il élimine, l'affouragement pendant la saison de culture devenant le plus limitant. La solution obtenue montre comment les paysans pourraient améliorer leurs revenus de 22 % en substituant 252 ha de stylosanthès à de la jachère et ainsi avoir plus d'animaux (1 433 contre 885), donc plus de fumier, donc des achats d'engrais limités à la fumure de l'association maïs-petit-mil.

L'intérêt potentiel du stylosanthès apparaît davantage en présence d'une population accrue. Une population de 1 500 habitants pourrait obtenir les mêmes revenus par tête que les 1 100 habitants de la solution de base en pratiquant un système de production assez homothétique. Il faudrait cependant s'assurer que le raccourcissement de la jachère qui en résulte ne compromet pas la reproductibilité de la fertilité.

• Amélioration de la fabrication de fumier

En l'absence de coefficients techniques précis, pour évaluer l'intérêt de l'amélioration de la production de fumier par une meilleure conduite des parcs, seuls les animaux de trait ont été pris en compte et supposés doubler leur production de fumier.

le modèle permet d'imaginer quelques déblocages et d'évaluer les conséquences d'autres contraintes

risque d'extensification

amélioration des revenus

effet peu important :
les pailles deviennent
facteur limitant

En première approche cette amélioration technique n'a pas d'effet important sur le système. On constate essentiellement une utilisation un peu accrue du fumier sur céréales. La limite de cette technique vient de ce que, pour produire deux fois plus de fumier par bovin, il faut mobiliser à peu près deux fois plus de pailles. Or les pailles disponibles sont limitées et en partie utilisées en concurrence pour l'alimentation des animaux. Pour mieux discuter de cette question il apparaît d'ailleurs nécessaire d'améliorer le modèle pour permettre certains transferts de paille entre les activités de fabrication de fumier et d'alimentation des animaux.

extensification du
coton et
augmentation des
céréales

• La baisse du prix du coton

Les difficultés du coton sur le marché mondial incitent à se poser la question des effets d'une baisse de son prix au niveau des producteurs.

L'analyse de sensibilité a montré qu'il fallait abaisser le prix du coton de 84 à 69 F pour avoir un effet sur la solution. L'examen de la solution obtenue après cette modification montre une extension du coton (de 287 ha à 331 ha) et une baisse de la consommation d'engrais sur coton. Cette extensification se traduit par une légère baisse (8 %) des quantités produites. De façon complémentaire la baisse des revenus du coton serait en partie compensée par la vente de davantage de céréales produites sur des surfaces légèrement accrues et en ayant recours à l'engrais pour le maïs-mil.

intensification des
céréales

• La hausse du prix du maïs

Avant la libéralisation du marché des céréales leur prix au producteur, et plus particulièrement celui du maïs, était plus élevé. Le modèle a été utilisé pour évaluer les effets d'une éventuelle remontée du prix du maïs.

L'examen des études de sensibilité a conduit à faire passer le prix du maïs de 34 F à 44 puis 50 F. La comparaison des solutions obtenues montre d'abord une réponse positive des ventes de maïs qui passent de 416 tonnes à 439 puis 505 tonnes. Cette augmentation de l'offre a été possible par une intensification progressive des céréales et une légère réduction de leur superficie après l'apparition du maïs intensif avec engrais et fumier.

Cette intensification des céréales se traduit par une hausse des dépenses d'engrais qui tend cependant à être limitée par une réduction de 23 % des surfaces en coton fumées. Malgré cela les ventes de coton sont maintenues par une augmentation des superficies en coton de 27 %.

CONCLUSION

La programmation linéaire se confirme comme étant un outil très efficace et simple d'emploi pour étudier le champ du possible technico-économique à l'échelle d'un système agricole local, car il s'agit fondamentalement d'un problème d'allocation de ressources sous contraintes sévères.

La construction du modèle oblige à bien préciser ce que l'on veut discuter, à délimiter le système auquel on s'intéresse et à bien le simplifier ; ceci fait immédiatement ressortir les limites des connaissances et données existantes. La modélisation permet cependant de reculer ces limites car en l'absence de données précises il est possible de tester certaines hypothèses et de connaître leur intervalle de fiabilité.

Le modèle présenté ici montre l'intérêt de cette technique pour évaluer *a priori* la pertinence de telle ou telle alternative technique, que l'on dispose de références expérimentales précises ou non.

Ainsi l'intérêt potentiel du stylosanthès a été clairement perçu et les actions de recherche-développement sur le terrain ont été partiellement réorientées.

Les possibilités du paramétrage des coefficients de la fonction objectif (prix des facteurs et des produits) comme de ceux du niveau des contraintes ouvrent des perspectives d'analyse prometteuses sous réserve d'accroître la flexibilité technique du modèle et de mieux formaliser le comportement économique des paysans en introduisant des contraintes liant le risque et la trésorerie.

BIBLIOGRAPHIE

ARNAUDIN J-P, 1981. Les terroirs de Fonsébouguou : occupation du sol, géomorphologie. Paris : IGN Département de télé-interprétation, Ronéo 20 p.

BENOIT-CATTIN M., FAYE J., 1982. L'exploitation agricole familiale en Afrique Soudano-Sahélienne. Paris : P.U.F. 99 p.

- BERCKMOES W., JAGER E. J. et al.**, 1988. Intensification, souhait ou réalité ? In: *Farming systems research extension symposium, USA : Université d'Arkansas*.
- BOUSSARD J.-M., BOURLIAUD J., LEBLANC J.**, 1977. La programmation linéaire comme outil descriptif du comportement des agriculteurs ; une étude pilote au Sénégal. In : *Mondes en Développement N° 17*.
- BOUSSARD J.-M., DAUDIN J.-J.**, 1988. La programmation linéaire dans les modèles de production. Paris : Masson, 120 p.
- BROSSIER J., JAGER E.J.**, 1984. Analyse technico-économique des unités de production agricoles sénoufos à Fonsébougou sud Mali. Amsterdam : IER/DRSPR/KIT, 150 p.
- GAMBREZY L., COUTY P., LERICOLLAIS A., MARCHAL J.-Y., RAYNAUT C.**, 1984. La région, territoire de recherche. In : *Le développement rural en questions. ORSTOM (Coll. Mémoires n° 106)*.
- CMDT**, 1987. Rapport annuel 1986-87; 194 p.
- CMDT**, 1988. Séminaire sur l'avenir de la filière coton au Mali : coton et développement régional. Bamako, 323 p.
- CMDT IER-DRSPR**, 1987. Intégration agriculture-élevage: mémento à l'usage des encadreurs. 49p.
- CSAKI Cs.**, 1985. Simulation and systems analysis. In : *Agriculture*, 262 p.
- Direction nationale du plan et de la statistique**, 1987. Enquête agricole de conjoncture, région de Sikasso
- EICHER L.R., BAKER D.C.**, 1982. Research on agricultural development. In : *Sub-Saharan Africa: a critical survey. MSU*, 335 p.
- HAZELL P., NORTON R.**, 1986. Mathematical programming for economic analysis. In : *Agriculture. New-York Mac Millan*, 400 p.
- IER/DRSPR**, 1979 à 1988. Rapports des commissions techniques de la recherche sur les systèmes de production rurale. Volet Fonsébougou/Sikasso.
- JOUVE Ph.**, 1988. Quelques réflexions sur la spécificité et l'identification des systèmes agraires. In : *Cahiers de la Recherche-Développement n° 20*.
- KEBED.**, 1989. Les relations agriculture-élevage et le devenir des systèmes de production, Fonsébougou, sud-Mali. Mémoire de DEA, ENSAM Montpellier.
- KLEENE P., SANOGO B., VIERSTRA G.**, 1989. A partir de Fonsébougou : présentation, objectifs et méthodologie du «volet Fonsébougou», 1977-1987. Bamako : IER, Amsterdam : IRT.
- LELOUP S., TRAORE M.**, 1989. Une étude de la situation fourragère dans le Mali sud.
- MATLON P.J., FAFCHAMPS M.**, 1988. Crop budgets for three agroclimatic zones of the west african semi-arid tropics. ICRISAT, Resource management program, Economic Group, progress report 85.
- SABATIER J.-L.**, 1988. Contribution à l'étude du projet d'irrigation «small holders» lower Shire valley, Malawi Volet agriculture. SFCD-IRAT-CIRAD.
- SINGH I., SQUIRE L., STRAUSS J.**, 1986. Agricultural household models. Washington : World Bank, 335 p.

Prospects for the modelling of village agrarian systems: The example of the cotton growing regions in Mali. — M. BENOIT-CATTIN, P. CALKINS, D. KEBE, J. L. SABATIER.

Agronomic research must dot itself with the means for detailing the technical, economic, social and organisational conditions in which agriculture in the regions concerned can make technical progress and develop in order to achieve better evaluation of the changes in the macro-economic and sector policies which would enhance the creation of these conditions. It is proposed that local agrarian systems at village scale should be the target level for the collection of available information and knowledge. Linear programming is used in the formalisation and calculation method chosen; this is well-suited for the choice of complementary, competing activities in a context of severe constraints. The case of a village in southern Mali is discussed. It is an evolved situation with problems of balance between a cash crop (cotton) and cereal crops, relations between crop and livestock farming, increasing population pressure, etc. The writing of a simplified model is described step by step. The results are discussed and several scenarios presented and discussed to illustrate the analysis and evaluation potential provided by the technique.

Key words: Modelling, agrarian system, village, linear programming, Mali.

Perspectivas de la modelización de los sistemas agrarios lugareños : el caso de las regiones aldoneras de Mali. — M. BENOIT-CATTIN, P. CALKINS, D. KEBE, J.L. SABATIER.

La investigación agronómica debe darse los medios de explicitar las condiciones técnicas, económicas, sociales y organizativas en las cuales la agricultura de regiones donde ella interviene, es susceptible de progresar técnicamente así como de desarrollarse, esto a fin de evaluar mejor los cambios en las políticas macro-económicas y sectoriales que ayudarían a crear las condiciones.

El nivel de aproximación propuesto para movilizar la información así como los conocimientos disponibles, por esencia heterogeneos, es el sistema agrario por su forma de funcionamiento a nivel de cada población.

El método de formalización y de cálculo retenido es la programación lineal bien adaptada para la selección de actividades complementarias o en competencia en un contexto con serias limitaciones.

Se trata de una comunidad al sur de Mali, que corresponde a la evolución de situaciones con problemas de equilibrio entre un cultivo de renta (algodón) y los cultivos cereales, con relaciones entre agricultura y ganadería, con presión demográfica creciente, etc.

Se describe paso a paso la elaboración de un modelo simplificado, sus resultados son discutidos en varios casos y presentados para ilustrar las posibilidades de análisis y de evaluación, propuestas por esta técnica.

Palabras claves : Modelización, sistema agrario, comunidad, programación lineal, Mali.