

Intégration culture-élevage dans les zones sahélo-soudaniennes : un modèle de programmation linéaire

Yacouba SONGUE

Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.
01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01 / ysongue@hotmail.com

RÉSUMÉ

Ce travail s'inscrit dans un programme international de recherche dénommé « SADAOC¹ ». Il part des difficultés que rencontrent les systèmes de culture itinérant et les systèmes d'élevage extensif, aujourd'hui, pour développer un modèle intégré de culture et d'élevage. Ce modèle, de programmation linéaire, estimé à l'aide du logiciel GAMS (General Algebraic modeling System), indépendamment des résultats qu'on obtient peut servir de cadre à une réflexion profonde sur le système agricole dans les zones sahélo-soudaniennes. Il permet de montrer ce qui est possible de faire pour permettre un développement optimal de ces zones rurales.

Mots-clés : Intégration, Modèle, Système, Culture, Elevage, Exploitation Centrale, Programmation linéaire, Analyse systémique, Analyse normative.

Linear programming model for culture-breeding integration in sahelo-soudanian zones

ABSTRACT

This work is part of an international research program named "SADAOC" (sustainable food security in Central West Africa). It is built from difficulties that meet itinerant culture systems and extensive breeding systems, today, to develop an integrated model of culture and breeding. This linear model exit through the software GAMS (General Algebraic modeling System), independently of results that one gets is the setting of a deep reflection on the agriculture system in sahelo-soudanian zones. It permits to show what is possible to improve development of these farming zones.

Words-key : Integration, model, system, culture, breeding, central exploitation, linear programming, systemic analysis, normative analysis.

INTRODUCTION

L'agriculture dans les zones sahélo-soudaniennes est essentiellement pluviale et l'irrigation est peu développée. Les précipitations sont en général mal réparties dans le temps et dans l'espace. Elles varient de 600 mm par an en moyenne dans la région sahélienne à 800 mm dans la région soudanienne. Elle (l'agriculture) est également dominée par la petite exploitation individuelle. Au Burkina Faso, par exemple, elle est de 0,4 hectare par habitants (Boubié, 2000). C'est une agriculture de subsistance caractérisée par la prédominance des cultures vivrières (mil, sorgho, maïs, riz, fonio, niébé). En plus de ces contraintes structurelles qui entravent le développement de la production agricole, il convient d'ajouter les facteurs de l'environnement institutionnel que sont l'insécurité foncière, l'insuffisance de mesures incitatives surtout dans les régions productrices de cultures vivrières, l'imperfection des marchés. De ce fait la situation alimentaire est précaire. Le bilan céréalier (solde entre la production et la consommation), régional et national est généralement négatif (Ruijs, 2002, Boubié, 2000).

Des efforts ont été faits pour accroître la production agricole par l'introduction de la traction animale. Mais comme le souligne Jaeger (1997), ces efforts ont eu des résultats limités. Selon Badouin (1985) citant Bigot (1977) : « Dans les douze cas étudiés, la culture attelée a pu se développer une fois grâce à l'arachide, huit fois à la culture cotonnière, tandis qu'elle restait embryonnaire dans les autres cas portant seulement sur des cultures vivrières mal commercialisées ». Par conséquent, les cultures vivrières profitent moins de la traction animale et des engrais chimiques. Pourtant, la dégradation des terres, l'extension des superficies ont atteint leurs limites (Marchal, 1983 ; Prudencio, 1987 cités par Maatman et al., 1994).

La fertilisation des champs par la fumure animale (à l'exception des champs de case) était le plus souvent le résultat d'un contrat entre éleveurs de gros bétail (les Peulhs) et les cultivateurs. Cette pratique est en nette régression (Djiguemdé, 1988). En effet, la dégradation continue de l'environnement aggravée par sécheresse des années 1973, fait que les ressources des

¹ Sécurité Alimentaire Durable en Afrique de l'Ouest Centrale.

régions du nord ne suffisent plus à nourrir de grands troupeaux (Delgado, 1980). Les éleveurs se déplacent avec leurs troupeaux pour s'installer dans les régions les favorables. De Boer et al. (1994) indiquent que 93% des éleveurs Peulhs se sont installés dans la province de la Sissili (au sud du Burkina Faso) les vingt dernières années. Selon eux, 82% des éleveurs (peulhs) ont immigrés surtout à cause du manque de pâturage au nord. Les mutations de l'environnement physique (sécheresse, dégradation des terres) imposent des changements de comportement de la part des cultivateurs et des éleveurs. Les rapports économiques et sociaux (contrat de fumure, confiage de bétail...) entre ces deux communautés s'affaiblissent.

L'intégration de la culture et de l'élevage au sein d'une même exploitation se présente comme une alternative aux autres systèmes qui ont montré leurs limites. Pour cela, on part du postulat que toutes les exploitations possèdent du bétail comme l'indique le tableau 1 ci-dessous et mènent une activité de culture.

Tableau 1 : Nombre moyen d'animaux par personne selon les espèces et les provinces du yatenga, du Passoré, et du Sourou (en unités) au Burkina Faso.

| PROVINCES | BOVIN | OVIN | CAPRIN | VOLAILE |
|-----------|-------|------|--------|---------|
| Yatenga | 0,2 | 0,8 | 1 | 1,6 |
| Passoré | 0,1 | 0,6 | 0,7 | 2,1 |
| Sourou | 0,3 | 0,7 | 0,9 | 2,3 |

Source : Enquête Nationale sur l'Effectif du Cheptel (E.N.E.C.), 1989

En considérant, comme Maatmam et Schweigman (1994) que l'exploitation agricole comporte en moyenne dix (10) personnes, on compte deux (2) bovins par exploitation au Yatenga, un (1) au Passoré et trois (3) au Sourou. Ce bétail, il y a quelques années, était confié aux éleveurs, surtout le gros bétail (les bovins). Ce système de confiage, selon Delgado (1980) s'expliquerait par la contrainte de main-d'œuvre au niveau des exploitations des cultivateurs. Comme indiqué plus haut le système atteint ses limites.

L'intégration de la culture et de l'élevage au sein d'une même exploitation est conçue comme un système de production dans lequel on recherche une synergie entre la production végétale et la production animale. Cette synergie se situe au niveau de l'alimentation des animaux en résidus de culture et la fertilisation des champs par la fumure animale. C'est un modèle intégré de culture et d'élevage dont les bases sont le modèle de culture de Maatman et Schweigman (1994) et notre modèle d'élevage (Songue, 1997). Ces

deux modèles ne sont pas repris ici, seul le modèle intégré est présenté.

Notre objectif dans cet article, est d'explorer les possibilités d'intégrer la culture et l'élevage au niveau d'une « Exploitation Représentative », en prenant en compte les contraintes imposées par l'environnement institutionnel (imperfection du marché, formation d'institutions remplaçant le marché). Deux questions guident notre démarche : (1) quel nombre d'animaux, compatible avec la disponibilité en main-d'œuvre, faut-il garder à l'exploitation pour assurer une production suffisante de fumure animale en vue d'accroître la production céréalière ? (2) quels changements dans le système de culture sont-ils nécessaires pour maximiser la production de résidus ? Ces deux questions nous amènent aux hypothèses suivantes :

- l'intégration culture-élevage est limitée par la contrainte de main-d'œuvre ;
- l'intégration culture-élevage introduit un changement dans l'importance ou la place accordée aux différentes cultures dans le système de production.

L'article comporte trois parties. La première présente le cadre conceptuel et méthodologique ; la seconde, la structure du modèle de programmation linéaire et la troisième les résultats et la discussion du calcul du modèle intégré.

I. CADRE CONCEPTUEL ET METHODOLOGIQUE

1.1. Cadre conceptuel

Deux questions peuvent nous aider à définir ou à circonscrire le système que nous voulons construire : (1) dans quelle zone l'intégration culture-élevage est-elle possible ? (2) quelle exploitation agricole est disposée à adopter l'intégration de la culture et de l'élevage ?

La première question est en apparence d'ordre géographique a son importance parce qu'il existe des facteurs économiques défavorables. Ces facteurs tels que le coût élevé des intrants (engrais, pesticides...), le manque des moyens de transport, la non maîtrise des techniques sont autant d'obstacles à la mise en oeuvre de système intensif spécialisé. Dans la zone sahélo-soudanienne avec 600 à 800 mm de pluie par an, l'intégration culture-élevage apparaît comme un élément central de la pérennité des systèmes agricoles.

Le critère géographique n'est pas suffisant pour justifier l'intégration. C'est pourquoi la deuxième question est importante. Elle est liée aux caractéristiques et aux comportements de l'exploitation agricole. Ce sont des unités qui prennent à la fois des décisions de pro-

duction et de consommation (Sadoulet et De Janvry, 1995), qui participent partiellement aux marchés des facteurs et des produits. Ces marchés sont du reste, souvent, imparfaits et incomplets (Ellis, 1993).

Il devient, dans ces conditions, important de lier le comportement de ces agents (unités) au cadre institutionnel (marché) existant. Lorsque les échanges ne sont pas possibles à travers le marché (information imparfaite, coûts de transaction), des institutions adaptées se mettent en place. C'est pourquoi l'unité de référence « l'exploitation » adaptée à notre modèle est celle qui intègre en son sein décision de production et de consommation et donc se caractérise par des échanges limités à travers les marchés.

1.2. Méthode d'analyse

Habituellement, la programmation linéaire met en rapport les ressources et les contraintes pour déterminer les niveaux des ressources à utiliser et la production optimale en fonction d'une fonction objectif à maximiser ou à minimiser.

Delgado (1980) a utilisé un tel modèle dans la région de Tenkodogo (au sud-est du Burkina Faso) pour déterminer le niveau de la production (végétale et animale) d'une exploitation moyenne (représentative). Elle a permis d'expliquer à partir de la contrainte de main-d'oeuvre le confiage des bovins des agriculteurs aux éleveurs. Mais elle ne permet pas de comprendre et d'expliquer le comportement des exploitations paysannes.

On expliquerait difficilement ces tentatives d'intégrer la culture et l'élevage qu'on observe dans les zones rurales. On suppose ici que lorsque les contraintes de terres et de pâturages se font sentir, résultant de la dégradation des terres, de la sécheresse et de la pression humaine et animale sur les ressources, l'intégration s'impose aux exploitations ci-dessus définies. Des comportements en apparence « irrationnels » s'expliqueraient lorsqu'on comprend l'environnement dans lequel les agents opèrent.

Une méthode pour comprendre l'environnement et identifier les facteurs dominants est l'approche systémique. Elle permet d'identifier les facteurs qui influent sur les décisions (des paysans) et de mettre en relief les interrelations entre ces facteurs. Pour cela, elle exige une description assez précise des aspects importants. Dans cette description une distinction est faite entre l'analyse descriptive et l'analyse normative des stratégies paysannes. L'analyse descriptive permet de

décrire les stratégies des paysans et les facteurs qui les influencent. Elles se rapportent à des situations réelles telles qu'elles se présentent ou se sont présentées dans le passé. Les résultats statistiques sont fournis par plusieurs études villageoises exécutées au Burkina Faso. Il s'agit par exemple de : Delgado (1979, 1980), l'ICRISAT (Malton et Fafchamps, 1988), De Boer et al. (1994), Meyer (1989), MAE/PASA (1990).

L'analyse normative se réfère à des normes introduites pour savoir dans quelles conditions elles sont réalisables. Elles portent sur les changements voulus et les mesures à prendre pour les réaliser. C'est pourquoi la programmation linéaire est adaptée à notre étude. Elle est utile « quand on développe de nouvelles stratégies, on réalise des plans d'amélioration, on s'efforce de faire de progrès » (Schweigman, 1993).

L'approche systémique servira de cadre de référence à notre modèle de programmation linéaire. Elle permettra d'identifier les contraintes et les ressources (quantifiables ou non) telles que les coutumes, les traditions et de déterminer la structure du modèle de programmation linéaire. Par exemple, l'alimentation des animaux par le fourrage des pâturages pendant la saison pluvieuse est une tradition dans les zones sahélo-sahéliennes. Leur alimentation par les résidus de cultures pendant la période sèche (au lieu de la divagation) est une norme introduite pour améliorer le système d'élevage.

1.3. Les données du modèle

Les données ayant servi au calcul du modèle sont issues de sources secondaires. Elles ont été rassemblées par Maatman et Schweigman (1994) pour le modèle de culture et par Songué (1997) pour le modèle d'élevage, à partir des études réalisées au Burkina-Faso par des chercheurs et des organismes de recherches. Sur le modèle de culture, les données sont issues des organismes tels que l'ICRISAT (Malton et Fafchamps, 1980; McIntire, 1983), FSU/SAGRAD (Roth, 1986; Singh, 1988 etc...), des chercheurs tels que Broekhuysse (1983, 1988), M.J. Dugué (1987), P. Dugué (1989), Pudencio (1983, 1987). De ces données la notion « l'Exploitation Centrale² » a été définie. Elle représente une situation moyenne avec un système de culture, des types de champs (individuels, communs), des temps de travaux, des superficies, des rendements des cultures, des périodes de récolte, de stockage, de commercialisation. Les résultats du calcul

² C'est une exploitation représentative pour le Plateau Central (au Burkina Faso), composée de dix (10) personnes, dont cinq (5) ont plus de quinze (15) ans, y compris le chef de l'exploitation. Ce sont les membres actifs dont trois (3) sont des femmes et deux (2) sont des hommes. Ils sont supposés fournir une contribution importante aux travaux des champs communs. Les cinq autres, ayant moins de quinze ans (15) ans, sont considérés comme des inactifs ; mais peuvent effectuer des tâches plus légères.

du modèle ne seront pas présentés ici mais serviront à comparer et à interpréter les résultats du modèle intégré.

Sur le modèle d'élevage les données sont issues des nombreuses études initiées par les autorités burkinabè sur le cheptel. On peut citer : l'Enquête Nationale sur les Effectifs du Cheptel (MAE, 1989) ; l'étude sur les paramètres zootechniques des petits ruminants réalisée par le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (MAE, 1990) ; l'enquête sur le troupeau bovin, menée par Meyer (1989). En plus de ces études des chercheurs tels que Delgado (1979, 1980), De Boer et al. (1994), Meyer (1989), Breman et al. (1991), Brouzat (1980), Barbier (1994), Marchal (1983), Quilfen et al. (1981), fournissent de nombreuses données sur le système d'élevage, la production des pâturages, les rendements des résidus etc...

En partant des données du modèle de culture et de celle sur le modèle d'élevage nous avons construit un modèle intégré de programmation linéaire dont la structure est ci-dessous présentée.

II. LA STRUCTURE DU MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE : PRESENTATION DU MODELE INTEGRE

Plusieurs points sont abordés : la période de planification, la production végétale, la production animale, la main-d'oeuvre, le bilan financier et la stratégie optimale.

2.1. La période de planification

La période de planification est «l'espace temps» sur lequel sont étudiées les stratégies de production, de stockage, de consommation et de commercialisation.

La saison agricole commence au mois de mai et s'achève en novembre. Le début de la saison agricole (de mai à juillet) est divisé en périodes de deux (2) semaines pour analyser le choix des périodes de semis (chaque semaine de «retard» dans les semis peut occasionner des baisses de rendement), et aussi pour mieux analyser la compétition entre les semis des cultures et les premiers sarclages de céréales.

La concurrence en main-d'oeuvre, entre la conduite des activités de culture et le gardiennage des animaux, est étudiée sur cette période (mai à novembre).

Les stratégies de stockage (récolte, résidus de culture), d'alimentation du bétail, de commercialisation (bétail, céréales) et de production de fumier sont étu-

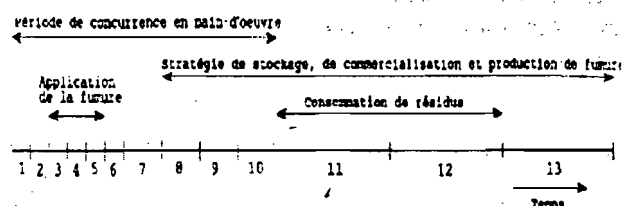
diées à partir de septembre (t = 8) jusqu'à la fin de la période 13 (ci-dessous). La quantité de fumier produite pendant cette période est appliquée sur les champs pendant la période des cultures (juin, juillet).

Les récoltes ont lieu en septembre, octobre, novembre (t= 8, 9, 10). C'est en ce moment aussi que s'effectue le stockage des résidus de culture pour l'alimentation des animaux. La consommation des résidus stockés commence dès décembre et s'achève en mai (t = 11, 12).

La période de planification est divisée et numérotée comme suit :

- 1 et 2 respectivement première (1 - 15) et deuxième (16 - 31) moitié du mois de mai ;
- 3 et 4 respectivement première (1 - 15) et la deuxième (16 - 30) moitié du mois de juin ;
- 5 et 6 respectivement première (1 - 15) et deuxième (16 - 31) moitié du mois de juillet ;
- 7 et 8 respectivement le mois d'août (1 - 31 août) et le mois de septembre (1 - 30 septembre) ;
- 9 et 10 respectivement le mois d'octobre (1-31) et le mois de novembre (1 - 30) ;
- 11 les mois de décembre, janvier et février (1 décembre- 28 février) ;
- 12 les mois de mars, avril et mai (1 mars - 31 mai) ;
- 13 les mois de juin, juillet et août (1 juin - 31 août) ;

Schématiquement, les activités sont programmées de la façon suivante :



2.2. La production végétale

Le modèle de Maatman et Schweigman (1994) considère six cultures : le maïs (MA), le sorgho rouge (SR), le sorgho blanc (SB), le mil (MI), l'arachide (AR) et le niébé (NB). Ces cultures fournissent des produits pour la consommation humaine (céréales, arachide, niébé) et des résidus de culture destinés à l'alimentation des animaux.

L'ensemble de ces produits est noté P :

$$P = \{MA, SR, SB, MI, AR, NB\}.$$

Le rendement en grain est défini par $REND(j,p,t)$: rendement du produit p en période t si un hectare de

la parcelle j est cultivé (en kg/ha), où j est un élément de l'ensemble des parcelles³ noté J . La production en grain des parcelles en produit p et en période t est notée $PROD(p,t)$. Elle est calculée comme suit :

$$PROD(p, t) = \sum_p \varepsilon_p REND(j, p, t) \times SUR(j)$$

où $SUR(j)$ = surface de la parcelle j , où j est un élément de l'ensemble des parcelles noté J .

Les rendements en résidus sont obtenus en utilisant des coefficients de conversion définis par Quilfen et Milleville (1981), Marchal (1983). Ils sont liés aux rendements en grain et s'obtiennent en multipliant les rendements en grain par le coefficient de conversion qui est de 3 pour les céréales et de 8 pour les légumineuses (arachide et niébé).

Le rendement en résidus est défini par $RENDR(j, p, t)$: rendement en résidus du produit p sur un hectare de la parcelle j en période t (en kg de matière sèche).

On a :

$$RENDR(j, p, t) = REND(j, p, t) \times C(p)$$

où $C(p)$ est le coefficient de conversion.

La production de résidus, $PRODR(t)$, en kg par hectare en période t ($t = 8, 9, 10$) est calculée comme suit :

$$PRODR(t) = \sum_j \varepsilon_j \sum_p \varepsilon_p RENDR(j, p, t) \times SUR(j)$$

Le tableau ci-dessous présente les rendements en grain et l'estimation des rendements en résidus selon les produits.

Tableau 2 : Rendement en grain et estimation des rendements en résidus selon les produits en kg/ha

| Ensemble des Produits (P) | Rendement en grain | Coefficient de conversion | Rendement en résidus |
|---------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| Maïs (MA) | 1100 | 3 | 3300 |
| Sorgho Rouge (SR) | 475 | 3 | 1425 |
| Sorgho Blanc (SB) | 425 | 3 | 1275 |
| Mil (MI) | 330 | 3 | 990 |
| Arachide (AR) | 400 | 8 | 3200 |
| Niébé (NB) | 33 | 8 | 264 |

Source : Maatman et Schweigman (1994) ; nos calculs.

2.3. La production animale

Dans le système d'élevage, l'espèce est considérée comme l'élément de base de l'activité d'élevage. Une espèce se réfère à un animal :

- d'un certain type (bovins, ovins, caprins, volaille) ;
- qui est dans une classe d'âge ;
- qui suit un mode d'élevage ou régime alimentaire.

L'ensemble de ces espèces est noté E .

$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}, e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{14}\}$$

où e_1 à e_6 représentent les gros ruminants : e_1, e_2, e_3 sont les mâles et e_4, e_5, e_6 sont les femelles, classés respectivement en classe d'âge de 0 à 1 an, de 1 à 4 ans et de 4 ans et +.

e_7 à e_{12} représentent les petits ruminants : e_7, e_8, e_9 sont les mâles et e_{10}, e_{11}, e_{12} sont les femelles, classés respectivement en classe d'âge de 0 à 1 an ; de 1 à 2 ans et 2 ans et +.

e_{13} correspond à la petite volaille (de 0 à quelques mois) et e_{14} la volaille adulte.

Le nombre d'animaux d'espèce e possédés par l'exploitation à la fin de la période t , est noté $N(e,t)$; où $e \in E$ et t est un élément de l'ensemble des périodes de planification.

Il est obtenu à partir du nombre initial d'animaux d'espèce e ($N(e, t-1)$) possédés par l'Exploitation; du taux de mortalité de l'espèce e en période t , noté $tm(e,t)$, du taux de reproduction annuel des gros ruminants, noté

³ Une parcelle est une portion de terre correspondant à un type de champ où est cultivée une culture de l'ensemble P.

trg, ou des petits ruminants, noté trp, ou de la volaille, noté trv, du nombre d'espèce achetée en période t, noté ACH(e,t), du nombre d'espèce vendues en période t, noté VEN(e,t) et du nombre d'espèce consommées en période t, noté CON(e,t).

La formulation est faite par classe d'âge. Les animaux de la classe d'âge de 0-1 an est obtenu par la sommation du nombre de nouveaux nés survivants (issus des femelle de 2 ans et plus pour les petits ruminants et 4 ans et plus pour les gros ruminants), du nombre d'animaux qui sont déjà dans la classe d'âge et de ce qui reste des achats, des ventes et des consommations. Par exemple pour les gros ruminants de 0-1 an :

$$N(e,t) = N(e, t-1) \times \text{trg} \times K(t) \times (1 - \text{tm}(e,t)/2) + (1 - K(t)) \times N(e,t-1) \times (1 - \text{tm}(e,t)) + (\text{ACH}(e,t) - \text{VEN}(e,t) - \text{CON}(e,t)) \times (1 - \text{tm}(e,t)/2);$$

Où $N(e, t-1) \times \text{trg} \times K(t) \times (1 - \text{tm}(e,t)/2)^4$ est le nombre de nouveaux nés survivants (le nombre de femelle de 4 ans et plus $(N(e, t-1))$ à la période précédent multiplié par leur taux de reproduction multiplié par le taux de mortalité des nouveaux nés).

$(1 - K(t)) \times N(e,t-1) \times (1 - \text{tm}(e,t))$ est le nombre de ceux sont déjà dans la classe d'âge.

$K(t)$ est la durée de la période t divisée par la durée d'une année (pour avoir des chiffres correspondant à la période considérée). $\text{trg} \times K(t)$ est le taux de reproduction des gros ruminants en période t. Le taux de reproduction correspond au nombre de naissance en une année par femelle.

Pour les classes intermédiaires, la formulation est faite en tenant compte du nombre d'animaux survivant qui passe d'une classe à une autre : $K(t) \times N(e-1, t-1) \times (1 - \text{tm}(e,t)/2)$ plus le nombre de ceux qui sont déjà dans la classe plus le reste des achats, des ventes et des consommations.

$$N(e,t) = K(t) \times N(e-1, t-1) \times (1 - \text{tm}(e,t)/2) + (1 - K(t)) \times N(e, t-1) \times (1 - \text{tm}(e,t)) + (\text{ACH}(e,t) - \text{VEN}(e,t) - \text{CON}(e,t)) \times (1 - \text{tm}(e,t)/2)$$

Avec les mêmes considérations, on obtient la formule de calcul du nombre de volailles.

Comme il est de tradition dans les régions sahéliennes, les animaux se nourrissent pendant la période

de pluie (t = 3 à 10) de fourrages fournis par les pâturages. Pendant la période sèche (t = 11, 12), où il n'y a plus d'herbes, nous considérons qu'ils sont alimentés par les résidus de culture. Cela pour éviter la divagation des animaux (source de dégradation de la végétation et d'érosion des sols) et parce que le système sédentaire des cultivateurs ne leur permet pas la transhumance. Aussi, l'utilisation des sous-produits agro-industriels (la mélasse, les grains de coton, les tourteaux d'arachide ou de coton) essentielle dans un système intensif (embouche) pose des problèmes d'approvisionnement (production et distribution) et d'accessibilité (disponibilité au niveau local et capacité d'acquisition des paysans).

L'estimation des besoins alimentaires des animaux est faite en fonction de l'Unité Bétail Tropical (UBT). L'UBT représente un bovin de 250 kg (équivalent à 10 ovins ou 10 caprins) dont les besoins alimentaires sont estimés à 2,5 kg de Matière Sèche (MS) par jour pour 100 kg de poids vif. Soit 6,25 kg de matières sèche pour un bovin de 250 kg ; 0,625 kg de MS pour un ovin ou un caprin.

La productivité des pâturages est estimée en fonction de l'état du sol et de la pluviométrie (Grouzis, 1984; Breman et al., 1975). Par exemple la productivité des herbacées est estimée à 2,2 kgMS/ha/mm. En considérant 600 mm de pluie dans la région et un parcours par animal de 7 ha/UBT (MAE/PASA, 1990). On obtient par multiplication 9240 kg MS. Pour les ligneux avec une productivité de 1kgMS/ha/mm, nos estimations donnent 4200 kg MS ; soit un total de 13 440 kg MS/UBT.

Dans le modèle aucune contrainte n'est imposée sur les ressources en pâturage pour la simple raison que la consommation d'une UBT en saison de pluie (juin à novembre) égale à 1125 kg MS (6,25x30x6). Ce chiffre est largement inférieur (plus de 10 fois) à ce qui est disponible. La contrainte est imposée uniquement sur la consommation en résidus.

Les besoins en fourrage par espèce, en période t (en kg) sont notés B(e,t). La consommation de fourrage (en kg) en période t, CONF(t), est formulée comme suit :

$$\text{CONF}(t) = \sum_e \varepsilon \text{BF}(e,t) \times N(e,t); \text{ avec } \text{BF}(e,t) = 0 \text{ pour } e_{13} \text{ et } e_{14}.$$

Le stockage des résidus de culture commence au moment des premières récoltes, en septembre (t = 8) et s'achève après les récoltes (t = 12). Le stock évolue en fonction des pertes, de l'utilisation par les membres

⁴ On divise $\text{tm}(e,t)$ par 2 parce qu'on suppose que la mortalité s'effectue en moyenne pendant la moitié de la période. $\text{tm}(e,t)$ est le pourcentage d'espèce qui meurt en période t et $(1 - \text{tm}(e,t))$ est le pourcentage d'espèce qui survivent.

de l'exploitation, notées $fr(t)$ et de la consommation par les animaux, notée $CONR(t)$. Le stock de résidus à la fin de la période t , noté $STOCK(t)$, ($t = 8, 9, 10, 11, 12$) est donné par :

$$STOCK(t) = STOCK(t-1) \times (1 - fr(t)) + (PRODR(t) - CONR(t)) \times (1 - fr(t)/2)$$

Où $PRODR(t) = 0$ pour $t = 11, 12$; $CONR(t) = 0$ pour $t = 8, 9, 10$; $CONR(t) = CONF(t)$ en $t = 11, 12$.

La production récupérée de fumure animale (en kg) d'une espèce en période t ; où $e \in E$ et $t = 8$ à 13 est définie par $PFUM(e, t)$ et la production totale de fumure animale en période t est désignée par $PRODFUM(t)$ et s'obtient comme suit :

$$PRODFUM(t) = \sum_{e \in E} PFUM(e, t) \times N(e, t)$$

La quantité annuelle de fumure animale disponible (DSPFUM) pour l'exploitation (en kg) est donnée par :

$$DSPFUM = \sum_{t=8, \dots, 13} PRODFUM(t)$$

Selon les études une UBT produit (un bovin) 300 kg de fumier par an (Delgado, 1980). Un ovin ou un caprin produirait 30kg/an. Avec ces données, il est facile de calculer la production de fumier.

Soit $FUM(j)$, la quantité (en kg/ha) de fumier appliquée sur la parcelle j . La contrainte de fumier s'écrit :

$$\sum_{j \in J} FUM(j) \times SUR(j) \leq DSPFUM$$

2.4. La main-d'oeuvre

La main-d'oeuvre allouée à l'élevage est considérée seulement dans la période des cultures ($t = 1$ à 10 ; c'est-à-dire de mai à novembre) pour analyser la concurrence en main-d'oeuvre entre les activités de culture et d'élevage. Pendant cette période, l'eau (de pluie) est disponible dans les mares et les bas-fonds, et le fourrage naturel est disponible dans les pâturages. De ce fait, il n'est pas nécessaire de parler de main-d'oeuvre pour alimenter et abreuver les animaux.

Ces quantités de main-d'oeuvre sont comprises dans la main-d'oeuvre de garde (conduite et surveillance des animaux).

On suppose qu'à un certain niveau du cheptel, la quantité de main-d'oeuvre nécessaire à la garde devient constante. Elle n'augmente plus en fonction de l'augmentation du nombre d'animaux. Nous considérons un niveau donné, comme niveau de base dans le

modèle. Ceci, pour prendre en compte le phénomène d'économie d'échelle.

En plus de la main-d'oeuvre pour garder les animaux, il faut de la main-d'oeuvre pour stocker les résidus. Cette main-d'oeuvre consiste en la main-d'oeuvre pour ramasser les résidus sur les champs, les transporter à l'exploitation et les stocker. Nous supposons aussi, pour simplifier, que la main-d'oeuvre pour stocker est équivalente à la main-d'oeuvre pour récolter.

Dans le Modèle de Culture, la quantité disponible de main-d'oeuvre par exploitation et par mois est estimée en supposant qu'un actif peut travailler 7,5 heures par jour pour les hommes et 6,5 heures par jour pour les femmes. Cela pendant 26 jours en un mois sur les champs ou 13 jours pendant un demi mois. La main-d'oeuvre des enfants n'est pas prise en compte dans le Modèle de Culture. Dans le Modèle Intégré, il est supposé que les enfants fournissent la majeure partie de la main-d'oeuvre consacrée à l'élevage. Le gardiennage des animaux est d'ailleurs reconnu comme étant leur responsabilité. Nous supposons qu'ils consacrent 6 heures par jour à la garde des animaux. Les adultes y participent en raison 2 heures par jour pour maintenir les animaux éloignés des champs cultivés, lorsque les risques de dégâts sont élevés. Dans ce cas, la main-d'oeuvre des adultes est analysée comme des transferts de main-d'oeuvre de la culture à l'élevage.

En faisant abstraction des autres sources de main-d'oeuvre (entraide, location de main-d'oeuvre), les contraintes de main-d'oeuvre au sein de l'exploitation sont formulées ci-dessous :

- Contrainte de main-d'oeuvre sur les champs individuels : la main-d'oeuvre nécessaire dans la période t pour cultiver un hectare d'une parcelle j est noté $M'OC(j, t)$. La main-d'oeuvre disponible dans la période t pour les activités de culture (en heure) sur les champs individuels est notée $DSPM'OAI(t)$. Cette contrainte est formulée comme suit :

$$\sum_{j \in J} M'OC(j, t) \times SUR(j) \leq DSPM'OAI(t),$$

avec $J = \{\text{toutes les parcelles correspondant aux champs individuels}\}$.

- Contrainte de main-d'oeuvre sur les champs communs : on considère, $TM'OA(t)$ comme la main-d'oeuvre des adultes transférés aux activités de l'élevage en période t ; pour $t = 1$ à 10 . La main-d'oeuvre disponible dans la période t pour les activités de culture (en heure) sur les champs communs est définie par $DSPM'OAC(t)$. La contrainte s'écrit :

$$\sum_j \varepsilon_j C M'OC(j,t) \times SUR(j) + TM'OA(t) \leq DSPM'OAC(t),$$

avec JC = {toutes les parcelles correspondant aux champs communs}.

- Contrainte de main-d'oeuvre sur les activités d'élevage : M'OGARDE(t) est la main-d'oeuvre nécessaire dans la période t pour garder le troupeau (en heure) ; M'OR(j,t), la main-d'oeuvre nécessaire pour ramasser, transporter et stocker les résidus de culture sur la parcelle j en période t (en heure/ha) ; DSPM'OE(t), la main-d'oeuvre disponible dans la période t pour les activités d'élevage (en heure) ; M'OG1(t), le nombre d'heures de base pour la garde des animaux en période t et M'OG2(e,t) le nombre d'heures consacré à chaque espèce e en période t.

On a :

$$M'OGARDE(t) + \sum_j \varepsilon_j M'OR(j,t) \times SUR(j) \leq DSPM'OE(t) + TM'OA(t)$$

$$\text{où } M'OGARDE(t) = M'OG1(t) + \sum_e \varepsilon E M'OG2(e,t) \times N(e,t)$$

On tient compte du fait que lorsque le nombre d'animaux augmente dans le troupeau, le nombre d'heures consacré à chaque animal diminue. Nous considérons un nombre d'heures de base par période (M'OG1(t)) auquel on ajoute, le nombre d'heures additionnel lorsqu'un animal, en plus, est introduit (M'OG2(e,t)). On considère aussi qu'en période de cul-

ture le nombre d'heures consacré à chaque animal est plus élevé qu'en période sèche, compte tenu du fait qu'il faut éloigner les animaux des champs cultivés.

2.5. Bilan financier

L'arbitrage entre revenus issus de la vente des produits végétaux et animaux est une stratégie importante en situation difficile et explique pourquoi la plupart des exploitations possède du bétail. En effet, les périodes de ventes des céréales correspondent aux périodes d'achats de bétail, c'est-à-dire en décembre, janvier, février (t = 11) ; et les périodes de vente de bétail correspondent aux périodes d'achat de céréales (t = 8,9,10,12,13).

De ce fait, on peut s'attendre, dans le cas d'un déficit important en céréale que les ventes, en nombre d'espèces animales, soient plus élevées. Car, les prix sont plus élevés par rapport aux prix de vente des espèces animales.

Les prix de vente et d'achat des petits ruminants et de la volaille sont fournis par Jager (1995). Ces prix sont des prix aux producteurs (au niveau villageois) inférieurs aux prix sur les marchés à bétail. Les prix des gros ruminants sont des prix sur les marchés à bétail fournis par la DSAP/MARA4. Ces différents prix sont présentés dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Estimation des prix d'achat et de vente d'espèces (en centaine de FCFA/Espèce)

| Ensemble E | e1 | e2 | e3 | e4 | e5 | e6 | e7 | e8 | e9 | e10 | e11 | e12 | e13 | e14 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Prix achat | 170 | 220 | 270 | 150 | 200 | 250 | 17 | 20 | 22,5 | 15 | 18 | 21 | 2,5 | 4 |
| Prix vente | 150 | 190 | 240 | 130 | 170 | 220 | 15 | 18 | 20 | 13 | 16 | 18 | 1 | 3 |

Source : Jager (1995), DSAP/MARA (1994), nos estimations.

Les prix de vente, PRV(P) et prix d'achat, PRA(P) des produits de culture sont fournis par Maatman et Schweigman (1994). Ils supposent que l'Exploitation n'achète pas de l'arachide ni du niébé. Seuls les prix de vente sont considérés. Ces prix sont présentés dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Prix de vente (au producteur) et d'achat (au consommateur) des produits végétaux en FCFA/kg

| Prix | Maïs (MA) | Sorgho Rouge (SR) | Sorgho blanc (SB) | Mil (MI) | Arachide (AR) | Niébé (NB) |
|--------|-----------|-------------------|-------------------|----------|---------------|------------|
| PRV(P) | 64 | 56 | 61 | 66 | 108 | 78 |
| PRA(P) | 120 | 96 | 100 | 107 | | |

Source : Maatman et Schweigman (1994).

Le bilan financier est étudié pour l'ensemble des produits de culture P : maïs (MA), sorgho rouge (SR), sorgho blanc (SB), mil (MI), arachide (AR) niébé (NB) et l'ensemble des espèces (E) (e₁ à e₆ représentent les gros

ruminants, e₇ à e₁₂ représentent les petits ruminants, e₁₃ et e₁₄ représentent la volaille). Ce nouvel ensemble est noté PT :

$$PT = \{PUE\} = \{MA, SR, SB, MI, AR, NB, e_1, e_2, \dots, e_{13}\}$$

Le bilan financier (en FCFA) de l'Exploitation à la fin de la période t est noté $FIN(t)$. On considère $\rho(t)$ comme le taux d'intérêt sur le capital déposé pour la période précédente $t-1$; $RNAE(t)$ les revenus non-agricole et non élevage (en FCFA) pendant la période t ; $DNAE(t)$ les dépenses non-agricole et non élevage (en FCFA) pendant la période t ;

$PRV(pt)$ le prix de vente d'un kg du produit de culture ou d'une espèce animale (en FCFA); $PRA(pt)$ le prix d'achat d'un kg du produit de culture ou pour une espèce animale (en FCFA); $ACH(pt,t)$ l'achat d'un kg de produit de culture ou d'une espèce animale (en FCFA) en période t , $VEN(pt,t)$ la vente d'un kg de produit de culture ou d'une espèce animale (en FCFA) en période t . Ce bilan financier est formulé comme suit :

$$FIN(t) = (1+\rho(t)) \times FIN(t-1) + (1+\rho(t)/2) \times ((RNAE(t) - DNAE(t)) + \sum_{pt \in} PT PRV(pt) \times VEN(pt,t) - \sum_{pt \in} PT PRA(pt) \times ACH(pt,t)).$$

2.6. Stratégie optimale

L'objectif que nous visons à travers le modèle est la production suffisante de fumure animale en vue d'accroître la production céréalière pour la consommation des membres de l'Exploitation. L'objectif d'une production importante de céréale pour la consommation est formulé comme suit, en considérant $PROD'(p,t)$ comme la récolte d'un kg de produit p en période t et $CON(p,t)$, la consommation d'un kg de produit p en période t . On a :

$$\sum_{p=Pcer} \sum PROD'(p,t) \geq \alpha \times \sum_{p=Pcer} CON(p,t),$$

avec $Pcer = \{MA, SB, SR, MI\}$ ensemble des céréales, $t = 8$ à 13 , α est la fraction de la consommation céréalière de base produite par l'exploitation.

L'objectif des paysans sahéliens a été, il y a quelques années (période de bonne pluviométrie), de produire suffisamment de céréales couvrant les besoins annuels de ses membres et de constituer des stocks de sécurité pouvant compenser les déficits, dus aux mauvaises récoltes, de plusieurs années. Avec les difficultés que connaissent les régions sahéliennes (baisse du niveau des pluies, baisse de la fertilité des sols), les objectifs se sont déplacés. Aujourd'hui, comme l'écrivent Maatman et Schweigman (1994), l'objectif de toute ex-

ploitation est de minimiser les déficits alimentaires, en utilisant au maximum des moyens financiers. L'une des sources de ces moyens financiers est la vente de bétail. Mais nous ne considérons pas que le bétail soit exclusivement destiné à la vente. L'objectif premier que nous assignons au bétail de l'Exploitation est la production de fumier.

Pour atteindre cet objectif, nous supposons que l'Exploitation maximise la valeur du cheptel, notée $VALCHEP$. C'est-à-dire la valeur du nombre d'animaux (nombre d'animaux multiplié par leur prix) dont dispose l'Exploitation à la fin de la période de planification ($t=13$). Cette valeur est notée $N(e, '13') \times PRV(e)$. On a :

$$VALCHEP = \sum_{e \in E} N(e, '13') \times PRV(e)$$

III. LES RESULTATS ET DISCUSSION DU MODÈLE INTÉGRÉ

Les résultats sont obtenus après calcul du modèle à l'ordinateur (au logiciel GAMS⁵). Nous présenterons d'abord les productions, les stocks, les consommations et les transferts de main-d'oeuvre. Ensuite, les stratégies d'achats et ventes des exploitations, enfin nous présenterons les résultats d'une analyse de sensibilité. La discussion se fera au regard de nos hypothèses de départ : à savoir (1) l'intégration est limitée par la contrainte de main-d'oeuvre ; (2) l'intégration introduit un changement dans l'importance accordée aux différentes cultures.

3.1. Production céréalière, production animale, stock, consommation de résidus et transfert de main-d'oeuvre

L'estimation du modèle est faite en faisant varier le nombre de petits rum-inants (scénarios) et en fixant le nombre de gros ruminants à deux (2) et le nombre de volaille à 28. Les gros ruminants sont essentiels soit pour la traction soit pour le transport et la volaille est importante pour la trésorerie de l'Exploitation (c'est l'élément le plus liquide, facilement monnayable dont dispose l'Exploitation). C'est pourquoi nous avons fixé leur nombre. Ces conditions étant fixées, le modèle est calculé jusqu'à 12 petits ruminants. Au-delà de 12 le modèle devient insoluble.

⁵ General Algebraic Modeling System

Tableau 5 : Comparaison des productions, des consommations, des stocks et des transferts de main-d'œuvre en fonction du nombre de petits ruminants au début de la période de planification.

| SCENARIOS | Nombre de Petits Ruminants au début de la Période de Planification (scénarios) | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|
| | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Production végétale totale (en kg) | 1642 | 1628 | 1627 | 1614 | 1539 |
| Production céréalière (en kg) | 1208 | 1161 | 1152 | 1105 | 1108 |
| Production d'arachide, du niébé (en kg) | 434 | 467 | 475 | 509 | 431 |
| Production de fumier (en kg) | 2019 | 2094 | 2126 | 2231 | 2103 |
| Valeur du cheptel (en FCFA) | 80260 | 80260 | 84350 | 93320 | 91905 |
| Stock de résidus (en kg) | | | | | |
| t = 8 (du 1 au 30 septembre) | 1172 | 1253 | 1279 | 1363 | 1169 |
| t = 9 (du 1 au 31 octobre) | 4943 | 5132 | 5286 | 5391 | 4771 |
| t = 10 (du 1 au 30 novembre) | 6371 | 6487 | 6525 | 6670 | 6055 |
| t = 11 (1 déc. au 28 fév.) | 3197 | 3182 | 3112 | 3170 | 2867 |
| Consommation de résidus (en kg) | | | | | |
| t = 11 (1 déc. au 28 fév.) | 2842 | 2970 | 3080 | 3160 | 2878 |
| t = 12 (1 mars au 31 mai) | 2913 | 3072 | 3004 | 3060 | 2768 |
| Transferts de main-d'oeuvre (en Heure) | | | | | |
| t = 3 (du 1 au 15 juin) | 3 | 0 | 3 | 0 | 5 |
| t = 4 (du 16 au 30 juin) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| t = 5 (du 1 au 15 juillet) | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| t = 6 (du 16 au 31 juillet) | 0 | 0 | 0 | 10 | 38 |
| t = 7 (du 1 au 31 août) | 0 | 0 | 0 | 2 | 67 |

Source: Résultats de calcul du modèle.

Ce nombre est dans les mêmes proportions que les résultats de l'ENEC (MAE, 1989). Mais il est inférieur aux chiffres que donnent l'équipe INERA/Nord-Ouest et Dugué (1989) qui sont de l'ordre de la vingtaine. Le nombre que nous donne le modèle s'approche sans doute de la réalité. Du fait des activités d'élevage (surveillance et alimentation des animaux, stockage des résidus et de la fumure) en plus des activités de culture, la main-d'oeuvre devient le facteur limitant le nombre d'animaux à l'exploitation. Cette contrainte de main-d'oeuvre se vérifie si on regarde les transferts de main-d'oeuvre. On remarque que lorsque le nombre de petits ruminants augmente les transferts de main-d'oeuvre (des adultes vers l'élevage) deviennent importants. Ces transferts diminuent la main-d'oeuvre consacrée aux activités de culture sur les champs communs. Avec 12 petits ruminants, les transferts sont importants en période 6 et 7 (fin juillet et août), c'est la période critique où il faut sarcler (enlever les mauvaises herbes, entretenir les cultures) et aussi éloigner les animaux des champs cultivés. Ces transferts ont pour but de prévenir les dégâts mais en même temps diminuent la main-d'oeuvre consacrée aux activités de sarclage. Toutes les autres grandeurs (production de fumier, stock de résidus, valeur du cheptel (à partir de 6 petits ruminants), consommation de résidus (pour t = 11) augmentent avec l'augmentation du cheptel jus-

qu'à 10 petits ruminants. Avec 12, toutes ces grandeurs ci-dessus citées diminuent. Ce qui peut s'expliquer par le fait qu'au niveau de 12 petits ruminants, deux gros ruminants et 28 volailles, la gestion et l'organisation des activités de culture, de collecte, de stockage du fumier et des résidus dans les meilleures périodes deviennent impossibles compte tenu du manque de main-d'oeuvre.

Les prix de référence correspondent aux valeurs marginales de la production dans la théorie économique, ce sont les valeurs de la fonction objectif que rapporte une unité additionnelle d'un facteur fixe. Les prix de référence de la main-d'oeuvre sont les prix que l'exploitation est prête à payer pour obtenir une heure additionnelle de main-d'oeuvre.

Les prix de référence de la main-d'oeuvre sur les champs communs pour toutes les activités (tableau 6) sont nettement supérieurs (sauf en période 7) à ceux que donne le modèle de culture (40 pour t = 4 ; 66 pour t = 5 ; 46 pour t = 6 et 20 pour t = 7). Cela peut s'expliquer par le fait qu'avec les activités d'élevage, qui s'ajoutent aux activités de culture, la main-d'oeuvre devient rare (contraignante) et sa valeur devient importante.

Tableau 6 : Prix de référence de la main-d'œuvre dans le modèle.

| Période (t) | Prix de référence pour le scénario de 8 petits ruminants | | | | Prix de référence pour le scénario avec 10 petits ruminants | | | |
|---|--|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| | t=4 | t=5 | t=6 | t=7 | t=4 | t=5 | t=6 | t=7 |
| Main-d'œuvre sur les champs communs(en FCFA/Hre) : -Pour toutes les activités -pour les semis | 75 | 145 | 84 | 13 | | | | |

Source: Résultats du modèle.

de 1105 kg (tableau 7). Elle est inférieure à celle obtenue dans le modèle de culture de Maatman et Schweigman (1994) qui est de 1322 kg. Par contre la production des légumineuses (arachide et niébé) a augmenté dans le modèle intégré (509 kg contre 309 kg dans le modèle de

En comparant tous les scénarios, des résultats optimaux sont obtenus avec le nombre de 10 petits ruminants. Bien que la production végétale soit inférieure de 13 kg (1627-1614) en comparaison avec celle obtenue avec 8 petits ruminants et des transferts de 9 heures (12-3), la valeur additionnelle du cheptel est de 8970 FCFA (93320-84350) et celle de la fumier est de 105 kg (2231-2126).

On peut conclure que le modèle donne des valeurs optimales pour un cheptel comprenant 10 petits ruminants, deux gros ruminants et vingt huit volailles. En partant de ce niveau, la production céréalière (maïs, sorgho blanc et rouge, mil) dans le modèle intégré est

culture de Maatman et Schweigman (1994)). L'explication peut être la suivante : les résidus des légumineuses ayant une grande valeur fourragère, prennent encore plus d'importance dans un système intégré en ce qui concerne l'alimentation des animaux.

Aussi, dans le modèle de culture le sorgho blanc n'est pas cultivé, par contre dans le modèle intégré, la production atteint 214 kg. Mais cette production n'est pas consommée, elle est vendue (voir tableau 7 et 8). La raison avancée par Maatman et al. (1996), pour expliquer l'absence de la culture du sorgho blanc est les pertes de valeurs nutritives importantes enregistrées lors de sa préparation.

Tableau 7 : Production et consommation de produits par l'Exploitation (en kg) en fonction des périodes.

| Période (t) | t=8 | t=9 | t=10 | t=11 | t=12 | t=13 | Total |
|-----------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|-------|
| Production (PROD)(en kg) | | | | | | | |
| - Maïs (MA) | 123 | 41 | 0 | | | | 164 |
| - Sorgho rouge (SR) | 0 | 87 | 87 | | | | 174 |
| - Sorgho blanc (SB) | 0 | 107 | 107 | | | | 214 |
| - Mil (MI) | 0 | 277 | 276 | | | | 553 |
| Total céréale | | | | | | | 1105 |
| - Arachide (AR) | 158 | 320 | 0 | | | | 478 |
| - Niébé (NB) | 15 | 16 | 0 | | | | 31 |
| Total | | | | | | | 1614 |
| Consommation (CON) (en kg) | | | | | | | |
| - Maïs (MA) | 118 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 157 |
| - Sorgho rouge (SR) | 7 | 8 | 9 | 50 | 50 | 25 | 149 |
| - Sorgho blanc (SB) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - Mil (MI) | 0 | 82 | 122 | 325 | 351 | 466 | 1346 |
| Total céréale | | | | | | | 1652 |
| - Arachide (AR) | 7 | 13 | 13 | 36 | 24 | 0 | 93 |
| - Niébé (NB) | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| Total | | | | | | | 1756 |

Source : Résultats du modèle.

Les résultats du modèle intégré ne contredisent pas les résultats du modèle de culture. En effet, la culture du sorgho blanc devient avantageuse pour ses résidus. La preuve est que la quantité de sorgho blanc produite est entièrement vendue au profit de la consommation de l'arachide, qui est normalement un produit de rente (produit pour la vente).

3.2. Les ventes et les achats

Les produits vendus sont le sorgho blanc (206 kg), l'arachide (274 kg) et le niébé 16 kg. Les autres produits, maïs, sorgho rouge et mil ne sont pas vendus (tableau 8). Ces produits ne sont pas vendus, sans doute à cause de leur importance dans le régime alimentaire des exploitations.

Les achats se limitent au mil (1254 kg dont 351 kg en période 12 et 903 kg en période 13) et au sorgho

rouge (8 kg en période 8). Quant aux produits animaux, certains résultats nous semblent conformes aux pratiques courantes. En effet, les ventes s'effectuent en période 8, 12 et 13. Ce qui correspond à des achats de céréales comme indiqué dans la littérature. Les achats se limitent, aussi, aux petits ruminants femelles de plus de 2 ans. Mais les nombres absolus, des ventes et des achats, nous semblent trop élevés par rapport à notre hypothèse de départ (les exploitations échangent peu à travers le marché). Ces résultats peuvent être liés aux paramètres introduits tels que le taux de mortalité, le taux de reproduction, les achats, les ventes et à la période de planification. Ces paramètres varient sur de courtes périodes et déterminent les niveaux de production.

Tableau 8 : Achats et Vente de produits et production animale.

| Périodes (t) | t=7 | t=8 | t=9 | t=10 | t=11 | t=12 | t=13 |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| PRODUITS VÉGÉTAUX | | | | | | | |
| <u>Vente (en kg)</u> | | | | | | | |
| -Sorgho blanc (SB) | | | | | 206 | | |
| -Arachide (AR) | | | | | 274 | | |
| -Niébé (NB) | | | | | 16 | | |
| <u>Achats (en kg)</u> | | | | | | | |
| -Mil (MI) | | | | | | 351 | 903 |
| -Sorgho Rouge (SR) | | 8 | | | | | |
| PRODUITS ANIMAUX | | | | | | | |
| <u>Production (en unité)</u> | | | | | | | |
| -P.R.M. 0-1 an (e7) | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| -P.R.M. 1-2 ans (e8) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -P.R.M. 2 ans et+(e9) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -P.R.F. 0-1 an (e10) | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| -P.R.F. 1-2 ans (e11) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -P.R.F. 2 ans et+(e12) | 4 | 4 | 4 | 4 | 27 | 26 | 6 |
| -Petite volaille (e13) | 17 | 18 | 7 | 20 | 29 | 42 | 62 |
| -volaille adulte (e14) | 5 | 6 | | 7 | 11 | 17 | 0 |
| <u>Ventes (en unité)</u> | | | | | | | |
| -P.R.M. 0-1 an (e7) | | 3 | | | | 9 | 8 |
| -P.R.M. 1-2 ans (e8) | | 1 | | | | 1 | 0 |
| -P.R.M. 2 ans et+(e9) | | 1 | | | | 0 | 0 |
| -P.R.F. 0-1 an (e10) | | 3 | | | | 9 | 8 |
| -P.R.F. 1-2 ans (e11) | | 2 | | | | 1 | 0 |
| -P.R.F. 2 ans et+(e12) | | 0 | | | | 0 | 20 |
| -Petite volaille (e13) | | 0 | | | | 0 | 0 |
| -volaille adulte (e14) | | 0 | | | | 0 | 27 |
| <u>Achats (en Unité)</u> | | | | | | | |
| -P.R.F. 2 ans et+(e12) | | | | | 23 | | |

Note: P.R.M=Petits Ruminants Mâles; P.R.F=Petits Ruminants Femelles.

Source: Résultats du modèle.

3.3. Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité avec deux scénarios de prix (prix élevés et prix bas) montre que: lorsqu'on augmente de 25% les prix du bétail par rapport aux prix du tableau 2, la production de fumure augmente. La production céréalière augmente aussi, mais cette augmentation est le résultat de l'augmentation de la production du sorgho blanc.

Tableau 9 : Comparaison de l'effet prix sur les productions (végétales et de fumier).

| Scénarios de prix. | Prix bas | Prix élevés |
|------------------------------|----------|-------------|
| Maïs (en kg) | 164 | 172 |
| Sorgho Rouge (en kg) | 174 | 175 |
| Sorgho Blanc (en kg) | 214 | 235 |
| Mil (en kg) | 553 | 551 |
| Arachide (en kg) | 478 | 461 |
| Nièbé (en kg) | 31 | 30 |
| Total: Céréale | 1105 | 1133 |
| Total: arachide, nièbé | 509 | 491 |
| Total | 1614 | 1624 |
| Production de fumier (en kg) | 2231 | 2276 |

Source: Résultats du modèle.

La production du maïs augmente aussi, sans doute à cause de l'augmentation de la production de fumier (la production du maïs exige beaucoup de fumier). Par contre la production de l'arachide diminue. Cela peut vouloir dire qu'avec l'augmentation des prix, l'exploitation pourrait acheter les sous-produits agro-industriels qui compenseraient les résidus de l'arachide. On note, globalement, que la production végétale augmente. On peut déduire d'une incitation par les prix peut améliorer les conditions de production.

CONCLUSION

Les mutations de l'environnement physique (sécheresse, dégradation des terres) dans les régions sahélo-soudaniennes contraignent les populations à un changement de comportement. Les cultivateurs sont obligés de produire le fumier (obtenu auparavant par contrat de fumier avec les éleveurs). Les éleveurs sont obligés de migrer et de s'installer dans les régions plus humides pour produire des céréales. L'intégration de la culture et de l'élevage s'impose aux deux communautés.

Notre objectif était d'analyser la possibilité de cette intégration en recherchant le nombre d'animaux compatible avec la disponibilité de main-d'œuvre permettant une production suffisante de céréale et les changements nécessaires dans le système de culture pour maximiser la production de résidus. Un modèle intégré de culture et d'élevage a été construit sur la base des modèles de culture de Maatman et Schweigman (1994) et d'élevage de Songue (1997).

Les résultats du calcul du modèle montrent que l'intégration de la culture et de l'élevage est contrainte par la main-d'œuvre. Avec une exploitation comportant 10 personnes (définition de l'Exploitation Centrale), le nombre optimal d'animaux qu'il faut garder est de 2 gros ruminants, 10 petits ruminants et 28 volailles. La contrainte de main-d'œuvre se situe en juillet et août (période 6 et 7). Périodes au cours desquelles il faut enlever les mauvaises herbes, entretenir les cultures, éloigner les animaux des champs. L'augmentation des prix de référence de la main-d'œuvre dans le modèle intégré par rapport au modèle de culture confirme sa rareté.

Les changements dans le système de culture se traduisent par une diminution de la production céréalière (par rapport au modèle de culture) au profit des légumineuses (arachide, nièbé). Le sorgho blanc (SB) qui n'était pas cultivé dans le modèle de culture est cultivé dans le modèle intégré et sa production est entièrement vendue. Ce qui indique qu'il est cultivé uniquement pour ses résidus. Il en est de même pour l'augmentation de la production de légumineuse.

Les résultats du calcul du modèle n'infirmes pas nos hypothèses. Mais il comporte de nombreuses omissions et simplifications. En effet, il est important, si l'on veut améliorer le modèle, d'inclure la culture fourragère dans le modèle et une contrainte sur l'eau. Parce que l'eau constitue une limite importante à l'élevage pendant la saison sèche et l'utilisation des pâturages pour l'alimentation des animaux constitue une importante source de dégradation de la végétation, et d'érosion des sols. L'amélioration du modèle dans ce sens peut se faire en tenant compte de la valeur alimentaire des fourrages (protéines, matières azotées digestibles) et des besoins en protéines et calories des animaux.

Le biais majeur que nous avons peut-être introduit dans le modèle est d'avoir considéré les ânes (les ânes) comme des gros ruminants. Cela peut se justifier, premièrement, par le fait qu'un modèle est une simplification de la réalité et deuxièmement par les données dont on dispose. Il est très rare, à notre connaissance, de trouver des paramètres zootechniques sur les ânes (taux de mortalité, taux reproduction, taux d'exploitation). Cette difficulté nous a conduit à associer les bovins et les ânes dans la catégorie des gros ruminants et à leur appliquer les paramètres zootechniques des bovins. La prise en compte de l'âne dans le modèle se justifie par son importance en matière de transport. La réussite de l'intégration culture-élevage dépend aussi de la disposition d'une charrette pour ramasser les ré-

sidus de culture et la fumure. La nécessité d'un bovin se justifie aussi en tenant compte de la traction. Ces raisons ont justifié le fait que les gros ruminants soient fixés dans les différents scénarios que nous avons exécutés. Il a été de même pour la volaille. La volaille est utile en considérant la trésorerie des exploitations. Elle est l'élément le plus liquide, facilement monnayable, dont disposent les exploitations. Son importance dans le modèle se justifie à ce niveau.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **AUDIBERT M. (1997)** : La cohésion sociale est-elle un facteur de l'efficience technique des exploitations agricoles en économie de subsistance, *Revue d'économie du développement* n°3 P.69 à 90.
- 2- **BADOUIN, R. (1985)** : Le développement Agricole en Afrique. Cujas, Paris.
- 3- **BASSOLET, B. (2000)** : Libéralisation du marché céréalier au Burkina Faso : une analyse néo-institutionnelle de son organisation et de son efficacité temporelle et spatiale, Thèse de Ph.D., centre for Development Studies, University of Groningen, The Netherlands.
- 4- **BREMAN, H., DE RIDDER, N. (1991)** : Manuel sur les pâturages des pays sahéliers. Editions Karthala, ACCT, CABO-DLO ET CTA.
- 5- **BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. (1992)** : GAMS Release 2.25, a user's guide. World Bank, The Scientific Press, San Francisco.
- 6- **BROEKHUYSE, J.TH. (1985)** : Désertification et autosuffisance alimentaire : une vue de la base. Institut Royal Tropical, Amsterdam.
- 7- **BROUZAT, D. (1980)** : Paramètres zootechniques des espèces ovines et caprines de type Mossi et de type Peulh. ORD-YATENGA, IEMVPT-PARIS.
- 8- **BARBIER, B. (1994)** : Modélisation agronomique et économique de la durabilité d'un système villageois : le cas du village de Bala au Burkina Faso. Thèse de doctorat, école supérieure agronomique de Montpellier.
- 9- **SADOULET, E.; DE JANVRY, A. (1995)** : Quantitative Development Policy Analysis. The Johns University Press.
- 10- **DE BOER F.; KESSLER, J.J. (1994)** : Le système d'élevage Peulh dans le sud du Burkina Faso : une étude agro-écologique du département de Tô (Province de la Sissili).
- 11- **DELGADO, C.L. (1979)** : Le système d'exploitation agricole des Peulhs du sud de la Haute volta : une nouvelle forme d'un ancien modèle d'intégration de l'élevage et de l'agriculture dans la savane de l'Afrique Occidentale. African Rural Economy Paper N°20.
- 12- **DELGADO, C.L. (1980)** : L'élevage par rapport à l'agriculture au sud-est de la Haute Volta : analyse de l'allocation des ressources au niveau de l'exploitation. CRDE, Université du Michigan.
- 13- **DUGUE, M.J. (1986)** : Fonctionnement des systèmes de production et l'utilisation de l'espace dans un village du Yatenga : Boukéré (Burkina Faso). Documents système agricole (DSA) N°1. CIRAD, Montpellier.
- 14- **DUGUE, M. (1989)** : Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de cultures vivriers en zone soudano-sahélienne : le cas du Yatenga (Burkina Faso). Collection documents système agricole, N°9. INERA, CIRAD.
- 15- **ELLIS, F. (1993)** : Peasant economics : farm households and agrarian development . Second edition, Cambridge University Press.
- 16- **KIMEYINGA, S. et al. (1994)** : Caractéristiques socio-démographiques et stratégies des ménages en matières de sécurité alimentaire dans la province du Passoré. Travaux de Recherche N°2 (Avril). CEDRES-LAVAL, Université de Ouagadougou.
- 17- **LESUEUR, J.Y.; PLANE, P. (1997)** : L'efficience technique : quelques repères méthodologiques, *Revue d'économie du développement*, n°3 P.9 à 31.
- 18- **MAATMAN, A.; SCHWEIGMAN, C. (1994)** : Etude des systèmes de Production agricole du Plateau Central au Burkina Faso : application de la programmation linéaire, Tome1. Document de travail du Projet ASP/SADAOC, INERA, Université de Ouagadougou, Université de Groningen.
- 19- **MAATMAN, A.; SCHWEIGMAN, C.; RUIJS, A. (1996)** : Etude des systèmes de Production agricole du Plateau Central au Burkina Faso : application de la programmation linéaire, Tome2. Document de travail du Projet ASP/SADAOC, INERA, Université de Ouagadougou, Université de Groningen.
- 20- **MARCHAL, J.M. (1983)** : Yatenga, Nord Haute-Volta : la dynamique de l'espace rural soudano-sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM N°167. ORSTOM, Paris.
- 21- **MALTON, P. J.; FAFCHAMPS, M. (1988)** : Crop Budgets for Three Agroclimatic Zones of West African Semi-Arid Tropics. ICRISAT, India.
- 22- **MCINTIRE, J.; BOURZAT, D.; PINGALI, P. (1992)** : Crop-Livestock Interaction in Sub-saharan Africa. World Bank, Regional and Sectoral Studies.
- 23- **MEYER, J.F. (1989)** : Le troupeau bovin au Burkina Faso : résultats d'enquêtes. MAE, Ouagadougou, IEMVT-PARIS.

- 24- MIGEOTTE, F. (1997) :** Marché de location du bétail au Rwanda : une approche par l'analyse des contrats, *Revue d'économie du développement*, n°1 P.61 à 103.
- 25- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE, (MAE) :** Enquête national sur les effectifs du cheptel (ENEC) : volume I, résultats et analyse. Ouagadougou, Burkina Faso.
- 26- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE, (MAE), (1990) :** Paramètres zootechniques des petits ruminants, Projet Statistiques Animales (PSA). Ouagadougou, Burkina Faso.
- 27- QUILFEN, J.P. ; MILLEVILLE, P. (1981) :** Résidus de culture et fumure animale. Un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. ORSTOM, Ouagadougou.
- 28- SCHWEIGMAN, C.(1993) :** Application de la recherche opérationnelle : Problème de l'agriculture dans le pays en voie de développement. Institut Royal des Tropiques, Pays-Bas.
- 29- SERPANTIE, G. ; MERSADIER, G. ; DE MONTCEL, L. (1985) :** La dynamique des rapports agriculture élevage en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso : diminution des ressources, organisation collective et stratégie d'éleveurs paysans au nord du Yatenga. ORSTOM-ETUDE, Ouagadougou Burkina Faso.
- 30- SINGH, I. ; SQUIRE, L. ; STRAUSS, J. (eds) (1986) :** Agricultural Household Models : Extensions, Applications an Policy. The Johns Hopkins Universty Press.
- 31- SONGUE, Y. (1997) :** Les mutations socio-économiques du système agricole: un modèle d'intégration culture-élevage, Thèse de 3è cycle, Université de Ouagagougou, Burkina Faso.
- 32- SOULAMA, S. (1989) :** Analyse économique des systèmes et structures alimentaires en zone à déficits céréaliers au Burkina Faso. CEDRES-ETUDES, N°26, janvier, Université de Ouagadougou.
- 33- RUIJS, A. (2002) :** Cereal Trade in Developing Countries : A Stochastic Equilibrium Analysis of Market Liberalisation and Institutional Changes in Burkina Faso, Ph.D. Thesis, Centre for Development Studies, University of Groningen, The Netherlands.
- 34- THIOMBIANO, T. (1987) :** Le rôle des prix dans la décision de produire et de vendre. CEDRES-ETUDES, avril 1987, Spécial Dixième Anniversaire Université de Ouagadougou.
- 35- WETTA, C. (1990) :** Systèmes de production agricole au Burkina Faso. CEDRES-ETUDES, N°30, Université de Ougadougou.

