

Rapports PSS N° 6

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

Projet de coopération scientifique

Maintien de la production agricole sahéenne

(Rapport mi-chemin du projet PSS)

H. Breman, AB-DLO ¹⁾

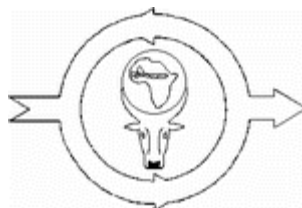
O. Niangado, IER ²⁾

Adresse:

¹⁾ AB-DLO, B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

²⁾ IER, B.P. 258, Bamako, Rép. du Mali

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



PSS

Rapports PSS N° 6

Wageningen, 1994

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 6

Table des matières

- [Résumé](#)
 - [1. Introduction](#)
 - [1.1. Problèmes agricoles des pays sahéens](#)
 - [1.2. La recherche de solutions](#)
 - [1.3. Le projet Production Soudano-Sahélienne](#)
 - [1.3.1. Origine](#)
 - [1.3.2. Elaboration](#)
 - [1.3.3. Objectifs et résultats attendus](#)
 - [1.4. Structure du rapport](#)
 - [2. Le taux de recouvrement de N et P dans la production fourragère](#)
 - [2.1. Introduction](#)
 - [2.2. La modélisation](#)
 - [2.3. Recherche pédologique](#)
 - [2.4. Légumineuses](#)
 - [2.5. Graminées pérennes](#)
 - [2.6. Agroforesterie](#)
 - [3. L'exploitation optimale des suppléments](#)
 - [3.1. Introduction](#)
 - [3.2. Supplémentation](#)

- [3.3. Supplémentation et comportement](#)
 - [3.4. Pâturage amélioré](#)
 - [3.5. Banque fourragère](#)
 - [4. La planification du développement rural à buts multiples](#)
 - [4.1. Introduction](#)
 - [4.2. Vues sur le développement rural sahélien](#)
 - [4.3. Description des ressources](#)
 - [4.4. Les cultures](#)
 - [4.4. L'élevage bovin](#)
 - [4.5. Etude de cas](#)
 - [4.6. Conditions économiques régionales](#)
 - [5. Bibliographie](#)
 - [Annexe](#)

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

Résumé

Le Projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) se concentre sur l'élaboration des systèmes de production et des stratégies qui pourront contribuer au développement rural de la zone de transition entre le Sahel et la savane soudanienne des pays sahéliens. L'élevage et son intégration avec l'agriculture forment l'angle d'incidence. Il s'agit d'une collaboration scientifique entre l'IER au Mali et l'AB-DLO et le DAN-UAW aux Pays-Bas, recevant un apport financier considérable de la Direction Générale de la Coopération Internationale du Ministère des Affaires Etrangères des Pays-Bas. Les points de départ principaux sont la pauvreté des sols de la région et la surexploitation des ressources naturelles à cause d'un surpeuplement relatif. La solution technique est recherchée dans l'amélioration de la situation fourragère et l'augmentation de la durabilité de la production fourragère par une utilisation accrue des engrais azotés et phosphatés, à travers un croisement de l'agriculture intensive et de l'agriculture écologique. Des études socio-économiques doivent identifier les mesures nécessaires pour augmenter l'accessibilité des intrants externes comme les engrais. Ainsi le projet analyse des relations entre les facteurs agro-écologiques et socio-économiques.

Ce rapport présente l'état des choses après deux années d'exécution du projet. Il ne s'agit que des travaux scientifiques. Le renforcement de la capacité de recherche malienne, un des objectif du projet, n'est pas traité.

Le [chapitre 1](#) analyse les problèmes du Sahel et présente la collaboration scientifique présente.

Le [chapitre 2](#) concerne l'optimisation de l'efficacité des engrais azotés et phosphatés sur les cultures fourragères. Les mécanismes étudiés sont la fixation d'azote des légumineuses, la pérennité des graminées et l'agroforesterie. Un résumé étendu de la connaissance sur le taux de recouvrement de N et de P précède la présentation des premiers résultats.

Le [chapitre 3](#) traite de la supplémentation. La recherche présentée cherche à optimiser l'utilisation des suppléments de bonne qualité. L'approche choisie concerne l'analyse de l'ingestion de matière organique digestible par rapport à l'offre, la structure, la digestibilité et le taux d'azote du fourrage brut et du supplément. Les études supplémentaires concernent les rapports entre la situation fourragère et les paramètres zootechniques, et l'influence de la supplémentation sur le comportement du bétail sur les terrains de parcours. C'est ainsi que le projet espère pouvoir extrapoler la recherche en étable vers la pratique paysanne.

Le [chapitre 4](#) décrit l'analyse des systèmes de production et de la relation entre des facteurs socio-économiques et agro-écologiques. On réalise qu'il n'est pas sûr que, sous les conditions socio-économiques actuelles, l'accessibilité de l'engrais chimique pour les paysans de la zone de transition entre le Sahel et la savane pourra être améliorée beaucoup,

malgré un taux de recouvrement élevé et une utilisation efficace des fourrages de bonne qualité à produire. On réalise également que la faisabilité économique d'une certaine option n'est pas une garantie de son adoption. L'approche choisie pour l'élaboration des stratégies de développement est l'utilisation d'un modèle pour la planification à buts multiples, tenant compte des objectifs des décideurs politiques et des paysans, des producteurs et des consommateurs, etc. Les résultats d'une utilisation de cette approche dans une des régions du Mali avant le démarrage du projet sont résumés, ainsi que des éléments pour l'utilisation actuelle.

Le modèle en question permet d'attribuer les ressources en terres à certaines productions agricoles, vu les conditions agro-écologiques et économiques et vu les (combinaisons) d'objectifs à poursuivre. Pour éviter un choix subjectif des conditions et des productions agricoles dans l'élaboration du modèle, le projet a organisé une enquête pour s'informer des opinions des tiers. Les résultats de cette enquête sont également présentés.

1. Introduction

1.1. Problèmes agricoles des pays sahéliens

Depuis les années soixante-dix, il existe une collaboration scientifique entre l'Institut d'Economie Rurale (IER) et le Centre pour la Recherche Agro-Biologique (CABO-DLO). Il y a eu d'autres partenaires, notamment l'Université Agronomique de Wageningen (UAW) et l'Institut pour la Fertilité du Sol (IB-DLO). Le dernier a récemment fusionné avec le CABO, créant l'AB-DLO. La collaboration a été rendue possible grâce aux contributions financières de la Direction Générale de la Coopération Internationale (DGIS) du Ministère des Affaires Etrangères néerlandais. L'attention a d'abord été portée sur l'analyse des problèmes agricoles sahéliens. Actuellement la collaboration se concentre sur l'élaboration des systèmes de production et des stratégies qui pourront contribuer réellement au développement rural.

Les premiers résultats scientifiques de la collaboration actuelle sont présentés ci-dessous comme approfondissement des résultats de la recherche commune précédente.

Le projet Production Primaire au Sahel (PPS) a joué un des rôles clefs quant à l'analyse du problème sahélien ([Penning de Vries & Djitéye, 1991](#)). La stagnation agricole s'explique par les goulots d'étranglements agro-écologiques suivants, outre la sécheresse :

- Un climat extrême, à cause de l'aridité de la saison sèche. Il n'existe pas d'autre région au monde, avec une évapotranspiration potentielle si élevée en cas d'une pluviosité comparable ([Breman & de Ridder, 1991](#)).
- Des sols pauvres, avec des taux d'azote, de phosphore et de matière organique très bas. Le taux bas de matière organique est une des causes de la faible capacité d'échange de cations et de rétention d'eau.
- Les végétations dominées par des espèces annuelles. Ceci cause une instabilité, une dynamique forte. En plus, la protection du sol est restreinte et le taux de matière organique reste bas.
- L'élevage connaît comme problèmes importants la disponibilité restreinte de fourrage au nord du Sahel, la qualité fourragère basse ailleurs, et la maladie de sommeil au Sud.
- Là où la disponibilité d'eau suffit pour les cultures, la disponibilité des éléments nutritifs est restreinte. En plus il y a question d'érosion aérienne et en nappe au Sahel. A côté d'érosion en nappe, la zone soudanienne souffre du lessivage et de l'acidification du sol.

Les goulots d'étranglement socio-économiques suivant viennent s'ajouter :

- Une croissance démographique élevée, tandis qu'il y a de plus en plus des régions surpeuplées (Tableau 1). Il s'agit d'un surpeuplement à une densité de population absolue basse, freinant l'intensification agricole aussi bien que l'industrialisation (van Keulen & Breman, 1990).
- La pauvreté des pays sahéliens et leur histoire coloniale. Le processus historique a conduit à une situation où le régime foncier est écartelé entre une législation floue et une tradition encore vivante mais en perte de vitesse. Les structures administratives sont faibles, le niveau d'éducation de la population est bas, et la valeur du F CFA a été surestimée jusqu'à récemment.
- Les possibilités d'exportation sont restreintes, car les richesses naturelles le sont aussi. L'agriculture domine les économies, sans avoir des avantages comparatifs notables. La culture et l'élevage se font de plus en plus concurrence

pour les ressources pauvres. Les pays riches concurrencent fortement les pays sahéliens à cause de la subvention de leur agriculture et de leur politique commerciale.

Tableau 1. Intensité d'exploitation des ressources naturelles au Mali, spécifiée par zone agro-écologique et par ressource, et caractérisation de la densité démographique.

zone	ressources fourragères	champs	espèces ligneuses	densité démographique
nord sahélienne	+	-	(+)	-
sud sahélienne	++	+	(+)	++
delta intérieur	+	++	+++	+
nord soudanienne	+	+	(+)	(+)
sud soudanienne	-	-	-	-

(suivant Breman & Traoré, 1987 ; - intensité modérée ; (+) surexploitation/surpeuplement local ; + à +++ surexploitation/surpeuplement restreint à fort)

1.2. La recherche de solutions

Le développement économique à partir d'une situation de surexploitation due à surpeuplement exige (van der Graaf & Breman, 1993) :

- une intensification agricole sur la base des intrants extérieurs, comme les engrais chimiques ;
- de l'emploi en dehors de l'agriculture.

Le pouvoir d'achat local est très restreint cependant, l'utilisation rentable des engrais est souvent impossible, et il n'existe pas une masse de main d'oeuvre bon marché, suffisamment importante pour créer facilement de l'emploi. La solution alternative, l'intensification à travers une agriculture écologique de l'autosuffisance^[1], ne résoudra pas le problème du surpeuplement. Le risque est grand en plus, que l'exploitation plus intensive des ressources naturelles mènera à terme à leur épuisement plus intensif.

Ainsi, le problème agricole sahélien ne pourra être résolu qu'en combinant les meilleurs éléments de chacun des deux solutions techniques mentionnées, et de les rendre accessibles par des mesures socio-économiques adéquates.

1.3. Le projet Production Soudano-Sahélienne

1.3.1. Origine

L'IER, le CABO-DLO et la DGIS, se sont réunis à la fin des années quatre-vingt pour formuler un programme de recherche dirigé vers le problème précédemment décrit. La DGIS était intéressé au financement d'un programme multidisciplinaire, qui pourrait servir la région sahélienne ensemble, qui réunirait les connaissances et les expériences de plusieurs instituts néerlandais, et sur lequel d'autres projets pourraient être greffés. Le programme ne devrait pas avoir exclusivement un caractère technique, mais devrait également porter sur les problèmes socio-économiques. Le Mali souhaitait être le premier bénéficiaire, une cohérence avec le programme de recherche national et un renforcement de la propre capacité de recherche. Le CABO-DLO cherchait à exploiter et à appliquer ses expériences dans les zones arides et de l'approche systémique, et à élaborer des méthodologies scientifiques pour l'intégration des recherches agro-écologiques et socio-économiques. Ainsi est né le projet Production Soudano-Sahélienne (PSS), sur l'exploitation optimale des éléments nutritifs en élevage.

1.3.2. Elaboration

Bien qu'il aurait été utile de s'occuper de l'élevage et des cultures ensemble, vu leur intégration progressive malgré leurs intérêts opposés, on a décidé de se limiter à l'élevage à cause du budget disponible. Cependant, au niveau de l'étude des systèmes agricoles, les cultures ne seraient pas perdues de vue. L'élevage a été choisi pour plusieurs raisons

:

- La collaboration s'est concentrée sur ce domaine dans le passé;
- la recherche malienne dans ce domaine avait besoin d'être renforcée ; l'élevage semble en général être négligé par la coopération internationale de la région ;
- la recherche des cultures par l'IER et par les instituts des pays voisins, avec son appui international, serait une ressource riche et continue de données ;
- l'approche systémique[2] au niveau de la production fourragère produirait des résultats, qui permettraient de se prononcer également sur plusieurs questions concernant d'autres cultures ;

Le choix de l'approche systémique permettrait d'extrapoler les résultats à obtenir sur quelques endroits limités, vers d'autres régions du Mali, vers d'autres pays sahéliens. Ainsi, on a pris quatre décisions :

- les essais agronomiques seraient exécutés sur quelques sols, et ceci dans deux zones climatiques ;
- la recherche serait une étude de processus, au lieu de se limiter à résoudre des problèmes à caractère local et temporaire ;
- l'élaboration des modèles et la simulation recevraient une attention particulière ;
- le projet aurait des contacts avec les départements de la recherche zootechnique, agronomique, et des systèmes de production de l'IER et travaillerait principalement en amont du Département de Recherche des Systèmes de Production Rurale.

Les zones climatiques choisies sont la partie sud du Sahel (Niono, 500 mm an⁻¹) et la zone nord soudanienne (Cinzana, 700 mm an⁻¹ ; N'Tarla, 900 mm an⁻¹). Ainsi on pourrait étudier la faisabilité économique de l'utilisation d'engrais chimique dans la région avec la pression démographique la plus élevée (Tableau 1).

Le Mali serait le premier bénéficiaire, car les résultats des essais concernent des situations maliennes, et les simulations font usage des paramètres maliens. Une exception serait les simulations au niveau d'intégration le plus élevé, celui de la région. Mais c'est ici où le Mali pourrait profiter de l'analyse des situations dans des pays tiers, où autres conditions socio-économiques règnent. En plus, le renforcement direct de la capacité de recherche se limiterait à l'IER.

Pour faire profiter les autres pays sahéliens des résultats de la recherche, il faudrait -à côté des outils de l'approche systémique- s'efforcer de faire connaître le projet et ses résultats déjà en cours d'exécution.

Le renforcement de la capacité de recherche malienne a été visé à travers la formation. La collaboration pratique est considérée comme la méthode la plus adéquate pour enseigner les techniques prévues et l'approche systémique. En plus il a été prévu de créer la possibilité pour des chercheurs maliens de faire une thèse de 3ème cycle dans les domaines couverts. C'est dans ce cadre qu'une collaboration avec l'Institut Scientifique pour la Formation et la Recherche Approfondie (ISFRA) a été organisée. Un montant important a été prévu pour mieux équiper l'IER, et pour améliorer l'infrastructure.

Le document du projet de mars 1991, date du démarrage officiel, présente bien plus de détail. L'exécution du projet a été confié à l'IER et au CABO-DLO. Deux autres instituts néerlandais sont impliqués, l'IB-DLO et le Département pour l'Aménagement de la Nature de l'UAW (DAN-UAW). Pour s'assurer d'une bonne intégration des connaissances socio-économiques et agro-écologiques, l'appui du groupe DLV a été recherché. Il s'agit d'un groupe qui concentre sa recherche sur cette intégration, et ceci en rapport avec l'utilisation durable des ressources naturelles et la sécurité alimentaire. Plusieurs instituts du DLO et départements de l'UAW en sont membre.

1.3.3. Objectifs et résultats attendus

Le PSS cherche à rendre les engrais accessible aux paysans de la zone d'intervention, avec l'élevage comme angle d'incidence. Le projet a été initié sur les point de départs suivants :

- une intégration des meilleurs éléments de l'agriculture intensive et de l'agriculture écologique est indispensable pour le développement rural ([van der Graaf & Breman, 1993](#)) ;
- il faut exploiter au maximum les avantages comparatifs et la complémentarité des zones agro-écologiques (Figure 1) ;
- l'intégration de l'élevage dans l'agriculture est utile si l'élevage n'a pas un rôle subalterne ;

- le changement des conditions socio-économiques est un objectif et un moyen.

Figure 1. L'évolution des niveaux de production durable (P) en rapport avec la pluviosité annuelle (mm an^{-1}) par spéculation, sur la seule base des ressources naturelles (suivant Breman, 1992)

L'optimisation de l'utilisation des éléments nutritifs est recherchée par l'Equipe Production Fourragère (EPF) dans quelques domaines :

- le recouvrement maximum des engrais phosphatés à travers la fixation biologique des fourrages légumineux ;
- le recouvrement maximum des engrais azotés et phosphatés à travers la pérennité des graminées et des légumineuses fourragères, et à travers l'agroforesterie comme système de production fourragère.

Les taux de recouvrement seront déterminés et analysés.

L'exploitation optimale du fourrage de valeur élevée, intrinsèque aussi bien que monétaire, est cherchée par l'Equipe Exploitation Fourragère (EEF). Les stratégies suivantes seront élaborées :

- utilisation en saison sèche, pour mieux faire ingérer les fourrages naturels et les sous-produits agricoles de qualité médiocre ;
- utilisation pour les différentes catégories de bétail, comme les femelles en gestation et les boeufs de labour.

Ainsi, le processus de l'ingestion est analysé en rapport avec les caractéristiques des fourrages bruts et des suppléments. Les rapports connus entre certains paramètres zootechniques sont précisés.

L'augmentation de la production, d'une façon durable du point de vu économique et écologique, demande des changements de techniques et de systèmes de production. Il faut une politique spécifique pour leur promotion dans des domaines comme :

- le droit foncier et la législation ;
- la sécurité en cas de sécheresse ;
- les prix, taxes, crédits et subventions ;
- l'importation et l'exportation.

Il s'agit de domaines très complexes. Aussi, la recherche de l'Equipe Modélisation des Systèmes (EMS) pour appuyer la définition des politiques, au niveau de l'état aussi bien qu'au niveau de la ferme, a besoin de modèles et de simulations. La programmation linéaire pour la planification à buts multiples a été choisie comme l'un des instruments. Un modèle dynamique du développement rural et de l'analyse économique au niveau de la ferme sont utilisés comme outils complémentaires.

La recherche de terrain est complétée aux Pays-Bas par l'Equipe d'Appui (EA), et par la collaboration avec le DLV et avec plusieurs départements de l'UAW. La recherche de l'EA concerne en particulier :

- la modélisation de la production du niébé (et d'autres cultures fourragères légumineuses), de l' *Andropogon gayanus* (et d'autres graminées pérennes) et de la production fourragère à travers l'agroforesterie ;
- l'analyse de la disponibilité de phosphore dans les sols sahéliens ;
- la description quantitative de la durabilité de la production agricole, avec une attention particulière sur le rôle de la matière organique du sol ;
- des études ponctuelles, demandées par les autres équipes.

Le projet espère se prononcer à terme sur les sujets suivants, dont [l'annexe](#) présente une élaboration pratique :

- Production fourragère
 - taux de recouvrement des engrais azotés et phosphatés pour la production de fourrage de bonne qualité en rapport avec l'environnement et les systèmes de production ;
 - la plus-value des légumineuses et des graminées pérennes ;
 - le potentiel de l'agroforesterie ;
 - la production potentielle de niébé, de *Stylosanthes hamata* et d'*Andropogon gayanus* en rapport avec le sol et le climat.

Exploitation fourragère

- l'exploitation optimale de suppléments de bonne qualité ;
- l'ingestion d'énergie digestible par rapport avec l'offre, la structure, la digestibilité et le taux d'azote du fourrage brut et du supplément ;
- le rapport entre la situation fourragère et les paramètres clefs;
- supplémentation et comportement du bétail sur les terrains de parcours.
- Stratégies de développement rural
 - rentabilité de l'utilisation des engrais pour les cultures et l'élevage ;
 - stratégies de développement par rapport aux objectifs nationaux, régionaux et paysans ;
 - potentiels et risques de l'intégration agriculture-élevage ;
 - rôle des conditions macro-économiques pour des possibilités de développement plus durables ;
 - relations entre les conditions agro-écologiques et socio-économiques.
- Approche de modélisation et de simulation
 - modèles de simulation pour la production de légumineuses, de graminées pérennes et pour l'agroforesterie ;
 - programmation linéaire pour une planification du développement rural à buts multiples.

1.4. Structure du rapport

L'état de réalisation des objectifs du projet est évalué d'une façon globale. Les trois sujets principaux seront traités dans les chapitres 2, 3 et 4, qui coïncident globalement avec les activités propres des trois équipes au Mali. La recherche de l'équipe d'appui aux Pays-Bas ne sera pas mentionnée à part. Leurs résultats sont intégrés dans ceux des « équipes de terrain ». Chaque chapitre commence par une introduction qui résume l'état des connaissances au démarrage du projet. Le premier approfondissement de cette connaissance par le projet sera ensuite présenté. Souvent, il s'agit des résultats des essais liés aux questions intermédiaires et des réponses partielles ou préliminaires.

2. Le taux de recouvrement de N et P dans la production fourragère

2.1. Introduction

Deux ouvrages des collaborations précédentes présentent la connaissance actuelle sur le taux de recouvrement de N et P dans la région : [Penning de Vries & Djitéye \(1991\)](#) le font en rapport avec la production fourragère des terrains de parcours, en se basant d'abord sur leurs recherches sur le terrain ; van Duivenbooden (1992) synthétise les données des tiers en rapport avec les cultures principales. Les taux de recouvrement des cultures fourragères, que l'EPF cherche à optimiser, aura des éléments en commun avec les deux formes de production primaire. Comme dans le cas des parcours, il n'est pas question d'une partie particulière de la biomasse produite. Les variations de la longueur de la saison de croissance n'influence pas trop sérieusement le recouvrement, comme chez les cultures. Le labour permet cependant, comme dans le cas des cultures, de gérer partiellement le ruissellement. Il augmente cependant en même temps que le risque de perte de la matière organique du sol, ainsi exposée à l'air, et le risque d'érosion aérienne.

La conclusion des auteurs mentionnés est celle d'un fonctionnement des engrais dans la région, qui ne diffère pas de celle ailleurs. Aussi longtemps qu'il n'y a pas engorgement, jusqu'à 80% de l'azote utilisé pour fertiliser les terrains de parcours peuvent être utilisés par les plantes. Si en plus de l'azote un autre élément (par exemple P ou de l'eau) devient limitatif, le taux de recouvrement de l'azote d'engrais diminue. [Penning de Vries & Djitéye \(1991\)](#) signalent que si P est le deuxième facteur limitatif, cette diminution s'aggrave avec l'augmentation de la disponibilité naturelle de l'azote pour la production aérienne : si cette dernière augmente de 10 à 30 kg ha⁻¹ an⁻¹, le taux de recouvrement de N diminue de 65% à 40%. Le reste n'est pas nécessairement perdu ; au moins une partie est stocké dans le sol, partiellement dans la matière organique. Au cours d'une période d'intensification, pendant laquelle la fertilisation est optimisée, on doit s'attendre à une amélioration de la quantité et de la qualité de la matière organique du sol, et du taux de recouvrement.

Le raisonnement ci-dessus est également valable pour le phosphore. Appliqué sous forme de triple super phosphate

(TSP) son taux de recouvrement maximum pour les parcours est 50% suivant [Penning de Vries & Djitèye \(1991\)](#) . Avec le phosphate naturel de Tilemsi (PNT) comme source, le recouvrement est beaucoup plus bas pour la première année d'application.

Le taux de recouvrement moyen de N et de P trouvé par van Duivenbooden (1992) pour le mil et le sorgho est de 37+/-18%% et de 16+/-10% respectivement pour la biomasse aérienne entière. Il présente quelque cas ou une double valeur a été observée. Il n'y a donc pas une différence principale avec les observations sur les terrains de parcours, si ce n'est le fait que la fraction qui sert la production de graines varie fortement avec la situation climatique et le rapport graines / pailles des variétés utilisées.

Breman & Traoré (1987) déduisent des données sur la production fourragère ci-dessus, qu'il faut tenir compte -pour la pratique actuelle de la région- d'une production supplémentaire de 33 kg de fourrage de graminées par kg de N ajouté, et de 100 kg de fourrage légumineux par kg de P ajouté. Les travaux de l'EPF devraient démontrer que des taux de recouvrement supérieurs sont possibles par le maintien d'un taux de matière organique du sol relativement élevé, en utilisant les graminées pérennes dans les rotations ou en cultures mixtes, ou dans l'agroforesterie. En plus, une précision est nécessaire par combinaison sol-climat ; les valeurs de Breman & Traoré sont des moyens pour une disponibilité d'eau qui dépasse 300 mm an⁻¹ infiltrés.

Il n'est pas encore possible de ce prononcer de l'augmentation éventuelle des taux de recouvrement. Quelques indications et conclusions importantes seront présentées néanmoins. Mais la majorité des résultats concernent des essais qui améliorent la compréhension des processus, et des activités de modélisation et de simulation. Les deux groupes sont indispensables pour accomplir la tâche pour la région entière, au Mali et ailleurs. Les acquis importants seront présentés. On négligera cependant les données qui ont peu de signification en soi. C'est ainsi que par exemple que la masse de données concernant le bilan hydrique ne sera pas présenté. Elle sera valorisée plus tard, à l'interprétation des taux de recouvrement observés. Dans [Koné & Groot \(en prép.\)](#) on trouve une indication des données disponibles.

2.2. La modélisation

Des modèles sont en élaboration pour appuyer l'expérimentation, et pour extrapoler les résultats des essais à Niono, Cinzana et N'Tarla de quelques années vers d'autres combinaisons sol-climat. L'approche du projet dans ce cadre, et son potentiel pour le développement de l'élevage durable ont été élaboré pour « l'International Conference Livestock and Sustainable Nutrient Cycles in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa » du CIPEA (Breman, 1994). Tout ce qui était disponible au démarrage du projet dans le domaine de la production fourragère de la région étaient un modèle pour la production limitée par l'eau pour la production primaire non-définie, un autre -très descriptif- pour la production de la strate herbacée limitée par la pauvreté du sol du ranch de Niono ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)), et un modèle pour la production de la strate herbacée de la partie Nord du Sahel ([Breman & de Ridder, 1991](#)). Ils ne peuvent pas appuyer l'expérimentation et l'analyse de la plus-value de la fixation d'azote, de la pérennité et de l'agroforesterie, ils ne peuvent pas servir à l'extrapolation de leurs résultats.

Le tableau 2 présente les activités en cours et celles réalisées. Leur point de gravité se trouve au sein de l'EA. La collaboration avec l'EPF est cependant indispensable pour l'intégration de la recherche théorique et pratique, pour la collecte des paramètres et pour certaines validations. La simulation n'a pas encore commencé ; les produits finis concernent des modules pour les modèles propres.

2.3. Recherche pédologique

Deux complexes de processus sont si peu connus pour la région, que le projet a jugé indispensable de les approfondir : ceux à la base de la disponibilité de phosphore et de la dynamique de la matière organique.

Tableau 2. Modèles/modules de simulation du projet PSS et état d'avancement de leur élaboration.

modèles/modules	état ¹⁾	références
bilan d'eau du sol	+++	de Willigen & Dijksterhuis, 1994

production légumineuse et disponibilité de P (niébé)	++	de Smidt, 1991 ; Haag, 1994
production pérenne (<i>Andropogon gayanus</i>)	++	Ukkerman, 1991 ; Bonachela, 1993
interception de la lumière (espèces ligneuses)	+++	Knevel, 1993
agroforesterie	+	

1) + en élaboration ; ++ première version disponible ; +++ version définitive disponible.

Le besoin en P et le taux de recouvrement des engrais phosphaté ont des liens directes et indirectes avec la disponibilité naturelle. Cette dernière est cependant difficile à déterminer. Le projet PPS n'a pas obtenu une image claire de la disponibilité ([Penning de Vries & Djitéye, 1991](#)) : le P-total des premiers 20 cm du profil de sol varie entre 10 et 200 mg kg⁻¹, sans rapport net avec la texture, la pluviosité et P-Bray. La chance de trouver un taux élevé de P-total augmente avec le taux d'argile, mais il semble cependant que P-Bray ait tendance à diminuer avec ce dernier taux. Le test biologique de l'absorption par les plantes était donc la seule méthode pour établir la disponibilité réelle. Celle-ci varie entre 0 et 5 kg ha⁻¹ an⁻¹ pour la strate herbacée ; la valeur moyenne pour la région étudiée est de 1,5 kg ha⁻¹ ([Penning de Vries et Djitéye, 1991](#)). [Breman & de Ridder \(1991\)](#) montrent que cette disponibilité est proportionnelle à la longueur de la saison de croissance et à la production de la biomasse aérienne : le rapport P/N s'améliore, et peut varier ainsi pour l'ensemble de la strate herbacée de 0,07 à plus de 0,20. Pour les légumineuses des parcours naturels le rapport est de l'ordre de 0,05.

De Willigen & Dijksterhuis, 1994 ont utilisé des échantillons des terrains d'essais à Niono et à Cinzana pour élaborer une approche pour pouvoir se prononcer sur la quantité de P assimilable dans le sol. Ils en ont déterminé les isothermes d'adsorption, les valeurs P_w (P à extraire par l'eau), P_i (P à extraire par l'oxyde de fer) et le taux de Fe. Avec seulement six sols et deux profondeurs, on observe déjà une variation de la valeur maximum d'adsorption de 0,08 à 1,39 mg cm⁻³ de P, et une variation de la capacité de tamponnage entre 130 et 6900. Le maximum d'adsorption (Q_m) est proportionnel aux taux de Fe-total (Fe) : Q_m = 0,354 Fe - 0,101. La méthode utilisée aux Pays-Bas, pour calculer P_i à partir de P_w ne s'applique pas aux sols très pauvres en P reçus du Mali. La recherche continue.

Le rôle clef de la matière organique du sol a déjà été signalé plus haut. Ce n'est pas seulement la quantité, mais aussi la « qualité » qui détermine sa contribution à la CEC, à la disponibilité des éléments nutritifs (minéralisation!) et à la fixation (temporaire) des éléments nutritifs (par exemple « faim d'azote » du sol). La « qualité », dont la valeur dépend du processus auquel on s'intéresse, varie avec l'âge. Une méthode simple a été développée à l'IB-DLO pour isoler la matière organique et pour la séparer en trois classes ([Meijboom et al., sous presse](#)). On obtient a) une fraction légère (< 1,13 g cm⁻³), comprenant des résidus de plantes reconnaissables et dont le rapport C/N est de 18-24 ; b) une fraction intermédiaire, partiellement humidifiée (poids spécifique 1,13-1,37 g cm⁻³ ; C/N 15-21) ; c) une fraction lourde d'humus pur (> 1,37 g cm⁻³ ; C/N 13-16). L'âge augmente avec la densité apparemment. [Hassink \(Meijboom et al., sous presse\)](#) a analysé les échantillons mentionnés ci-dessus, en se limitant à la couche supérieure, et les échantillons de la même couche du sol sous les deux peuplements d'*Andropogon*. La fraction légère varie déjà pour les huit échantillons seulement entre 7 et 30%, la fraction intermédiaire entre 12 et 28% et la fraction lourde entre 50 et 76%. L'histoire des sites devrait être connue pour pouvoir interpréter la variation. La vitesse de minéralisation de la matière organique des sols divers est lente. Le taux de C ou le taux de N des échantillons ne se présente pas comme bons indicateurs de cette vitesse. Mais la somme des fractions légères et intermédiaires de la couche supérieure du sol montre une corrélation positive avec la vitesse de minéralisation de C. Pour celle de N la corrélation est faible. La méthode a été installée à Cinzana et le personnel sur place a été formé. Il deviendra donc possible d'étudier l'efficacité de la fertilisation avec les caractéristiques de la matière organique du sol. Il sera possible par exemple de distinguer entre les sols « fatigués » et ceux considérés comme bons par les paysans!

2.4. Légumineuses

La fixation d'azote par les légumineuses pourrait être à la base de la faisabilité économique de l'enrichissement des champs en phosphore.

C'est depuis le démarrage en '91 que les essais avec l'espèce annuelle choisie, le niébé (*Vigna unguiculata*), ont été

exécutés. Le manque d'expérience quant à l'approche choisie et/ou les conditions agro-écologiques de la région ont fait que les résultats étaient limités pour la première saison. Une pluviosité très basse en '92 a beaucoup amoindri la valeur des observations à Niono. A Cinzana, les essais de cette année ont bien réussi, vu les niveaux de production atteints. La disponibilité en P de la jachère mise en culture est cependant telle, qu'il n'est pas possible de se prononcer sur le taux de recouvrement de P. Les résultats des essais de '93 renseigneront sur cette question, mais il faut attendre les analyses bromatologiques. Les résultats de '92 montrent déjà qu'une production annuelle de 5 à 7 t ha⁻¹ est possible avec une pluviosité de 700 mm an⁻¹ ([Koné & Groot, en prép.](#)). C'est seulement un peu en dessous du niveau de la production moyenne des annuelles limitée par l'eau pour la région. Elle est estimée à 7,5 t ha⁻¹ pour une espèce C₃ à la pluviosité de 700 mm ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)).

Bien plus élevée a été en '92 la production du *Stylosanthes hamata*, espèce semi-pérenne installée en '91. Elle a atteint un niveau de 8,4 t ha⁻¹ pour le témoin et de 10,7 en moyen (10,0 à 11,3) pour les parcelles avec 109, 218, 326 et 435 kg ha⁻¹ de TSP ([Koné & Groot, en prép.](#)). La disponibilité naturelle de P (voir ci-dessus) et la dose restreinte de TSP utilisée à l'installation font que le niveau de production maximale a été atteint à partir de la dose la plus basse déjà. Aussi, ce n'est que le taux de recouvrement minimal qui peut être dérivé. La dose la plus faible est celle de 109 kg ha⁻¹ de TSP, c.-à-d. 22 kg ha⁻¹ de P. La quantité absorbée par la biomasse aérienne dépasse celle du témoin de 13,3 kg ha⁻¹, en d'autres termes, le taux de recouvrement a été d'au moins 60%. La production supplémentaire par kg de P absorbée a été d'au moins 177 kg de matière sèche, c.-à-d. 77 kg en dessus du niveau prévu par Breman & Traoré (1987) pour la région. La production moyenne de 10,7 t ha⁻¹ dépasse même la production annuelle maximale limitée par l'eau d'une espèce annuelle C₃. Elle a été estimée à 9 t ha⁻¹ ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)).

La pérennité du *Stylosanthes hamata* en '92, qui a mené à une saison de croissance de 155 jours, contre 100 jours pour le niébé, est certainement une cause importante du succès. Il a été constaté cependant que l'espèce ne se comporte que rarement comme pérenne dans le climat de la zone soudanienne septentrionale, suivant le peu d'expérience du PSS et suivant les présentations au cours du séminaire au Nigeria en '92 (de Leeuw & Saleem, sous presse). Il y a deux explications supplémentaires à la supériorité du *Stylosanthes hamata* en comparaison avec le niébé. Le besoin en phosphore semble inférieur : le taux de P à la fin de la croissance augmente de 1,6 à 3,8 g kg⁻¹ de matière sèche du témoin à la dose la plus élevée de P pour *Stylosanthes hamata*, contre 3,9 à 8,2 g kg⁻¹ pour le niébé ([Koné & Groot, en prép.](#)). Les racines du *Stylosanthes hamata* seront vraisemblablement plus fines que celles du niébé, ce qui pourrait fortement favoriser l'absorption de P ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)). Des racines du niébé, 1% a un diamètre dépassant 2 mm, ne représentent pas grand chose pour le *Stylosanthes hamata* ([Koné et al., en prép.](#); Traoré, 1993).

Le comportement du *Stylosanthes hamata* comme une annuelle plutôt qu'une pérenne est un mécompte, surtout compte tenu de l'objectif visant une utilisation pour l'amélioration des terrains de parcours (voir 3.1, 3.4 et 3.5). [Penning de Vries & Djitèye \(1991\)](#) ont déjà montré qu'il n'est pas possible d'utiliser cette « approche australienne » au Sahel, à cause du caractère annuel de sa végétation. L'espoir que *Stylosanthes hamata* pourrait jouer le jeu dans la savane soudanienne, avec sa possibilité de se comporter comme pérenne et comme annuelle, semble exagéré. Aussi l'installation d'une vraie légumineuse pérenne, le pois d'Angole (*Cajanus cajan*), a été un quasi échec : ce n'est que sur terrain argileux à Cinzana, où il se produit une concentration des eaux de ruissellement, qu'un peuplement installé en '91 se maintient. Mais il est si hétérogène, que l'on ne l'a pas encore utilisé pour déterminer le taux de recouvrement du P.

2.5. Graminées pérennes

La promesse et la déception de la plus-value de la pérennité pour l'intensification apparaît déjà ci-dessus. Cette plus-value est étudiée également au niveau des graminées. *Andropogon gayanus* a été choisi comme plante test. La philosophie derrière la plus-value d'une telle espèce est liée au fait que la biomasse d'une pérenne dépasse de loin celle d'une annuelle. [Penning de Vries & Djitèye \(1991\)](#) montre qu'il ne s'agit pas d'une production exploitable plus élevée, mais d'une biomasse qui croît tous les ans du fait surtout de l'absence d'exploitation. La circulation effective interne et externe des éléments nutritifs se présente comme explication. La biomasse élevée devrait mener à terme à un taux de matière organique du sol supérieure à celui des plantes annuelles. Ceci est d'une importance capitale pour la

région (1.1), où le taux de matière organique du sol est difficile à maintenir sous culture (Pieri, 1989). La signification est beaucoup plus élevée que dans les régions tempérées, à cause de la contribution importante de la matière organique à la capacité d'échange de cations (CEC) dans la région (de Ridder & van Keulen, 1990). Il faut donc s'attendre à une efficacité plus élevée de la fertilisation sur des pérennes que sur les annuelles de la région.

L'influence de la pérennité d'*Andropogon* sur le taux de recouvrement de N et de P est étudiée par la fertilisation de deux peuplements : un peuplement jeune, installé à Cinzana au démarrage du projet, et un peuplement adulte et vigoureux de plus de 40 ans à N'Tarla. Pour cerner le rôle de la matière organique et l'interférence du pH du sol, la fertilisation a été exécutée sans et avec chaulage. On attend les résultats des analyses bromatologiques pour interpréter les résultats des premiers essais.

L'étude des racines est un autre élément pour une bonne interprétation des résultats. Elle permet de mieux comprendre la dynamique de la matière organique, la disponibilité naturelle des éléments nutritifs et le taux de recouvrement des engrais. Un bloc d'un mètre cube de terre sous *Andropogon* a été analysé mensuellement. Malgré tous les efforts, les résultats sont d'abord indicatifs (Traoré, 1993 ; [Koné et al., en prép.](#)). Le Tableau 3 en donne un résumé.

Les différences observées ne sont pas nécessairement liées à l'âge des peuplements, car ils se trouvent à deux endroits différents. Les sols diffèrent légèrement ainsi que la pluviosité.

Tableau 3. Comparaison des systèmes racinaires d'un peuplement jeune et d'un peuplement âgé d'*Andropogon gayanus*, en ce qui concerne la distribution de biomasse et de densité par rapport à la profondeur.

	jeune	âgé
profondeur maximale (cm)	120	170
biomasse racinaire (t ha ⁻¹)	5,4-7,2	6,7-8,7
grosses racines (20%) :		
0 - 10 cm (%)	95	87
0 - 20 cm (%)	100	100
racines fines (80%)		
0 - 10 cm (%)	>70	>50
0 - 20 cm (%)	75-80	85-90
densité racinaire (cm cm ⁻³)		
0 - 10 cm	2 - 4	2,5
10 - 20 cm	0,5	1 - 2
> 60 cm	0,1-0,3	<0,1

2.6. Agroforesterie

L'agroforesterie est une façon pour profiter indirectement de la plus-value de la pérennité. En rapport avec la production fourragère, il est théoriquement même possible de profiter aussi directement de l'élément pérenne des cultures mixtes, l'arbre, à travers la pâture aérienne.

La région d'étude connaît une longue tradition d'agroforesterie sous forme de « parklands » de *Faidherbia albida*. Il y a beaucoup d'actions visant à propager et à élaborer ces systèmes de production, pour éviter l'utilisation d'intrants externes. Dans la philosophie du projet (voir I), il faut plutôt l'utiliser pour augmenter l'efficacité des derniers. Le mécanisme est celui expliqué ci-dessus pour les graminées pérennes. Le pouvoir de concentrer et de sauvegarder les éléments nutritifs, de produire et de maintenir ainsi une biomasse et un taux de matière organique élevés, dépasse celui des herbacées. Faire profiter la production herbacée d'une culture mixte herbe-ligneux est cependant compliqué. L'interception de la lumière par l'élément ligneux en fait un fort concurrent pour l'eau et les éléments nutritifs.

Le projet essaie de se prononcer sur la valeur de l'agroforesterie pour l'efficacité de la fertilisation par l'analyse de la plus-value de l'arbre et de capacité de compétition en rapport avec les conditions agro-écologiques. Il s'agit d'études de terrain, greffées sur une étude théorique de la plus-value des espèces ligneuses pour l'utilisation des facteurs de production eau, azote, phosphore et lumière dans les zones semi-arides (Kessler & Breman, 1991 ; [Breman & Kessler, 1995](#)).

La dernière donne des indications pratiques et quantitative sur le rôle des espèces ligneuses dans les systèmes sylvo-pastoraux. Elle distingue les situations où les éléments nutritifs ou bien l'eau limitent la production fourragères. Dans la région étudiée la première situation domine fortement l'ensemble des terres agricoles. L'eau n'est le facteur limitatif que sur certains sols squelettiques et sur des sols à ruissellement très fort. L'élevage est cependant de plus en plus repoussé vers de tels sols par les cultures. La plus-value de l'arbre dans un système mixte est la plus élevée là où les éléments nutritifs sont limitatifs. Il est estimé que la disponibilité de l'azote, l'élément le plus limitatif dans la région, augmente pour le composant herbacé du système au maximum d'à peu près $6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Pour maintenir ce niveau il faut limiter l'exploitation des ligneux au maximum. [Breman & Kessler \(1995\)](#) supposent cependant qu'une fraction du pâturage aérien pourrait être exploitée ; celle liée aux éléments nutritifs absorbés par le sol en compétition avec la strate herbacée. La production ligneuse devrait re-circuler dans l'écosystème en tout cas. La disponibilité fourragère augmente ainsi de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ pour les bovins. Vu la qualité de ce fourrage, on peut s'attendre à une augmentation de la production animale d'un maximum de $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ de poids vif et de 10 l ha^{-1} de lait. Pour les brouteurs, comme les chèvres, il s'agit d'un peu moins que 10 kg de viande et 20 l de lait.

La plus-value concernée est basée pour une grande partie sur une réduction des pertes d'éléments nutritifs. La majorité des mécanismes qui jouent un rôle, ne connaissent pas une rétroaction négative à l'augmentation de la fertilité du sol. Ces deux conclusions ensemble impliquent que le bénéfice de la présence de l'arbre est proportionnel à la fertilité. Si l'arbre fait que la disponibilité de l'azote pour la production herbacée augmente de $6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ par diminution des pertes, pour une disponibilité naturelle de 25 kg ha^{-1} au maximum, 25% de la disponibilité seront sauvegardés. Ainsi, un système d'agroforesterie bien géré et utilisant 150 kg ha^{-1} par an de N sous forme d'engrais, pourrait diminuer les pertes de N de 30 kg ha^{-1} par an.

Une des études du projet pour l'approfondissement de cette connaissance est l'étude racinaire. En plus des objectifs cités déjà ci-dessus (2.5), elle contribue à l'analyse de la compétition entre l'arbre et les cultures fourragères qui l'accompagne pour l'eau et pour les éléments nutritifs. L'étude exécutée concerne l'Acacia seyal et le Sclerocarya birrea. Les racines de plusieurs arbres ont été étudiées jusqu'une profondeur de 5 à 6 mètres. Les premiers résultats ont été présentés dans le mémoire de DEA de Soumaré (1993), et dans trois publications en phase de préparation différentes : Groot & Soumaré (sous presse), Groot & Soumaré (en publ.) et [Soumaré et al. \(1994\)](#). Le pivot d'Acacia seyal atteint 6 m de profondeur. Ceci malgré le fait que l'humectation du sol à Niono ne dépasse souvent pas 2 m. L'Acacia doit profiter du processus de « stemflow » ([Breman & Kessler, 1995](#)). Les racines latérales peuvent dépasser 25 m de longueur, c.-à-d. plus de 7 fois le diamètre de sa couronne. La superficie du sol exploitée par ces racines latérales est en moyenne 25 fois la superficie de la projection verticale des couronnes. Pour Sclerocarya birrea les racines n'atteignent pas plus que 2,5 m de profondeur, mais la racine la plus longue trouvée était de 50 m, et la superficie exploitée presque 35 fois celle de la projection des couronnes. La biomasse des racines fines des arbres est bien plus élevée sous les arbres qu'en terrain ouvert, le taux de matière organique et la disponibilité relativement élevés des éléments nutritifs en dessous des arbres étant vraisemblablement l'explication. La distribution de ces racines fines en comparaison avec celles des herbacées montre une concentration plus profonde, un des processus décrit par [Breman & Kessler \(1995\)](#) pour diminuer les pertes des éléments nutritifs.

A côté de la description racinaire mentionnée, plusieurs études sont en cours : le suivi des flux de sève des deux arbres tests aidera de se prononcer encore mieux sur la compétition avec les espèces herbacées ; le suivi du bilan de la matière organique aidera à quantifier la plus-value des espèces ligneuses en rapport au maintien du taux de matière organique du sol.

Des propriétés différentes des espèces diverses influenceront cette plus-value tantôt positivement, tantôt négativement. La situation (strate herbacée, microclimat et sol) en dessous des couronnes et dans le champ ouvert est décrite et comparée pour six espèces, dont les caractères peu connus sont décrits également (systèmes racinaires!) : Acacia

senegal, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum ghasalense*, *Commiphora africana* et *Sclerocarya birrea*. Les résultats préliminaires (Radersma, 1994) indiquent globalement une influence restreinte, ce qui est en accord avec les conclusions de [Breman et Kessler](#) pour le Sahel proprement dit. L'influence sur le taux de matière organique du sol apparaît sans importance, malgré le fait que la méthode d'analyse de Meijboom et al. (sous presse) suggère une circulation bien plus rapide de la matière organique en dessous des couronnes des six espèces qu'en champ ouvert. La vitesse de dégradation du matériel de feuilles, enfoncé dans le sol, varie beaucoup. Elle est la plus élevée pour *Balanites*, et diminue dans l'ordre *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, *Combretum*, *Sclerocarya* et *Commiphora*. Cette ordre suggère un rapport avec la digestibilité « in vitro » des feuilles : dans ce cas l'ordre est de haut en bas *Acacia senegal* (65%), *Balanites* (59%), *Acacia seyal* (54%), *Combretum/Commiphora* (43%) et *Sclerocarya* (36% ; [Breman & de Ridder, 1991](#)). Après une pluie, le sol reste quelques jours plus humide en dessous des couronnes qu'à l'extérieur, au moins pour la couche des premiers 45 cm. Une exception forme *Acacia senegal*. C'est cette espèce et *Sclerocarya birrea* qui montrent une absorption d'azote par la strate herbacée en dessous des couronnes dépassant celle en champ ouvert ; les autres espèces indiquent le contraire.

3. L'exploitation optimale des suppléments

3.1. Introduction

Depuis bien longtemps les « Manuels et précis d'élevage » de l'IEMVT jouent un rôle important dans l'analyse des potentiels de l'élevage sahélien, vu la valeur de ses terrains de parcours et de ses autres sources fourragères (par exemple Boudet, 1978 ; Rivière, 1978). Les résultats du projet PPS et des études de suivi ont été exploités pour élaborer un manuel complémentaire ([Breman & de Ridder, 1991](#)). Ce manuel offre une analyse des contraintes à côté des potentiels, établit une différence entre les situations de la production limitée par l'eau et par les éléments nutritifs et entre la production annuelle et pérenne, permettant ainsi d'éviter la variation interannuelle due au climat et à la dynamique de la végétation. Le manuel jette un pont entre la qualité et l'état de parcours et la production animale, par la quantification et la qualification du fourrage ingéré, et par la méthodologie appliquée à la détermination de la capacité de charge des parcours par rapport à l'objectif d'élevage. Il permet de déduire la productivité des troupeaux de la production des animaux pris individuellement. Une des faiblesses gênantes est l'estimation de l'impact de la sélectivité du bétail : la réalité est vraisemblablement surestimée, en supposant que les animaux ingèrent toujours d'abord ce qui a la qualité la plus élevée ; il est également supposé que l'ingestion du fourrage de bonne qualité permet l'ingestion du fourrage autrement inutile à cause de sa valeur négligeable. Des petites erreurs peuvent avoir des conséquences importantes vu que le niveau d'alimentation basé sur les parcours naturels et la grande majorité des sous-produits agricoles ne dépasse souvent qu'à peine le niveau d'entretien.

Le projet PPS a estimé que la productivité des cheptels dans les systèmes d'élevage extensif est de l'ordre de 1 kg de viande par 200 kg de fourrage sec ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)). Ketelaars estime dans le manuel la productivité par rapport à la qualité fourragère et l'objectif de production. Il distingue quatre situations alimentaires : celles permettant aux jeunes bovins sevrés d'offrir une production annuelle nette de 25, 50, 75 et 100 kg de poids. Il s'agit du fourrage avec respectivement 9, 10, 11 et 12 g kg⁻¹ d'azote, et d'une digestibilité de 52, 54, 56 et 59%. Avec la qualité la plus basse, un troupeau complet est tout juste en mesure de se maintenir. C'est le niveau avec lequel le nombre maximal de bétail peut être tenu. Il s'agit de l'élevage du système agro-pastoral qui sert surtout d'appui à l'agriculture, par la production de fumier et de force de traction. Le deuxième niveau permet une production minimale pour vivre exclusivement de l'élevage. La transhumance efficace du Peulh du delta intérieur du Niger assurait encore dans les années soixante-dix un niveau supérieur (Diallo, 1978). Le tableau 4 présente comme exemples la quantité de fourrage nécessaire pour un accroissement de poids vif de 1 kg, pour trois types de production aux quatre niveaux alimentaires, plus les litres de lait qui accompagnent le gain de poids vif.

Tableau 4. Les besoins fourragers (matière sèche en kg kg⁻¹ de gain de poids vif) pour trois systèmes de l'élevage en rapport avec la qualité fourragère, et la production laitière qui accompagne chaque kg de gain de poids vif.

	I	II	III	IV
élevage jeunes bovins sevrés :				
-1				

besoin fourrager (kg kg ⁻¹)	36	28	21	16
troupeau complet ; objectif production de viande :				
besoin fourrager (kg kg ⁻¹)	54	36	30	27
lait (l)	0	4	7	8
troupeau complet ; objectif production laitière :				
besoin fourrager (kg kg ⁻¹)	54	39	35	35
lait (l)	0	7	13	20

Pour pouvoir se prononcer avec plus de précision sur le potentiel des suppléments pour intensifier l'élevage, l'EEF devra décrire d'une façon générale l'absorption d'énergie, l'ingestion de matière organique digestible. Pour cela, l'équipe cherche à mieux comprendre les processus d'ingestion et de sélection en rapport avec l'offre, la qualité et la structure des fourrages bruts et des suppléments. Les caractères de qualité escomptés concernent la digestibilité et la teneur en azote. Les rapports individuels commencent à être assez bien décrits : Zemmeling (1980), par exemple, décrit l'ingestion des bovins en fonction de la quantité offerte, la fraction acceptable et l'hétérogénéité de l'offre ; Ketelaars et Tolkamp (1991) estiment l'ingestion volontaire à partir de la digestibilité de la matière organique de la ration et sa teneur en azote. Le déficit de l'EEF est de synthétiser ces descriptions, pour estimer la qualité et la quantité de l'aliment ingéré, pour des combinaisons imaginables de fourrages bruts et de suppléments, chacune variant en qualité et en structure, et en quantité absolue et relative. Ainsi, il ne serait plus nécessaire de tester toujours et partout la valeur d'un certain sous-produit agricole ou industriels par rapport à la situation fourragère particulière d'une région ou d'un éleveur.

De tels tests sont compliqués et sont très sensibles aux conditions extérieures et à l'état et au caractère des animaux individuels. Ainsi, il faut -aussi dans l'étude de l'EEF- un nombre important d'animaux, aussi comparables que possible, sous des conditions aussi constantes que possible. On est donc obligé de faire des tests avec les animaux en stabulation. Le choix s'est porté sur de jeunes taureaux, étudiés dans l'étable à Niono. Trois questions supplémentaires devront être également résolues :

- comment traduire les résultats pour d'autres catégories de bovins (âge, sexe et état) ;
- comment traduire les résultats pour la supplémentation des animaux sur des parcours (pâturages naturels, champs après la récolte, etc.) ;
- comment traduire les résultats pour d'autres races, les petits ruminants en particulier?

On dispose de la synthèse de Ketelaars (1991) des relations entre une gamme de paramètres zootechniques et la situation alimentaire, et entre la production des jeunes bovins et celle du troupeau complet. Quelques relations importantes, liées à la reproduction, sont vérifiées par un essai de longue durée. Trois groupes de vaches sont suivis, maintenus sur trois niveaux d'alimentation. Pour progresser dans les deux autres domaines, l'influence de la supplémentation sur le comportement des bovins et des petits ruminant sur quelques parcours différents est étudiée.

La supplémentation sur la base des cultures fourragères implique que les agro-éleveurs ou les producteurs spécialisés disposent de temps pour les cultures en question, pour leur récolte et pour leur conservation et stockage. La sensibilité de la production des cultures à graines quant à la longueur de la saison fait qu'il existent souvent un manque de main d'oeuvre au début de l'hivernage et pendant la période des récoltes ([Veeneklaas et al., 1990](#)). La priorité donnée en général aux cultures vivrières et au coton risque d'être un obstacle à l'optimisation des cultures fourragères dans les conditions de prix actuelles. L'EEF analyse donc d'autres options visant une amélioration de la situation fourragère : les banques fourragères et l'amélioration des parcours. On se demande s'il ne serait pas possible de compenser la diminution d'efficacité des intrants externes, les engrais (voir 2.1), par une diminution du besoin en main d'oeuvre, l'intrant interne clef.

Le projet PPS s'est penché déjà sur la question du potentiel des légumineuses pour l'amélioration des parcours naturels ([Penning de Vries & Djitéye, 1991](#)). La conclusion a été, que les sols de la région sont trop pauvres en phosphore pour profiter réellement de cette option sans utilisation des engrais phosphatés. Les engrais chimiques sont trop chers cependant, et les phosphates naturels de Tilemsi n'apparaissent pas suffisamment efficaces. En outre, parce

que la stimulation des légumineuses ne peut guère être envisagée sous les conditions climatiques locales, du fait des différences typiques de germination et du pouvoir de compétition entre légumineuses et graminées, cette voie n'offre que bien peu de perspectives. C'est ainsi que l'utilisation des cultures fourragères légumineuses a été proposée pour une pluviosité inférieure à 500 mm an^{-1} . Le rapport du PPS ne se prononce pas sur l'amélioration des terrains de parcours de la zone soudanienne, car le projet n'y a pas effectué de tests.

Dès le démarrage du projet, une « banque fourragère » de *Stylosanthes hamata* a été installée au ranch de Niono, tandis qu'une ancienne jachère a été enrichie avec *Stylosanthes hamata* à Cinzana (« pâturage amélioré »). Les expériences du PPS s'opposaient à l'amélioration des parcours du ranch ; on a supposé qu'il serait plus facile de maintenir une banque fourragère pour une pluviosité moyenne de 500 mm an^{-1} . On espère cependant que la pluviosité de Cinzana suffira pour maintenir *Stylosanthes hamata* dans le pâturage. Même là la banque fourragère présente un avantage : elle sera vraisemblablement considérée comme une culture, et sera donc protégée par les droits fonciers s'y rapportant. Un parcours amélioré sera en général considéré comme terrain de libre accès. Le maintien d'un tel parcours exige cependant une gestion très stricte, comme le révèle une synthèse de l'amélioration des terrains de parcours en Australie tropicale (Breman, 1993). Ceci semble exclu pour les ressources naturelles communes. L'utilisation du phosphore améliore l'efficacité des légumineuses et les possibilités d'une gestion efficace ; deux raisons supplémentaires pour son utilisation, à côté du besoin relatif à la surexploitation des ressources (1.2). Le *Stylosanthes hamata* a été choisi comme légumineuse pour sa capacité de se comporter comme pérenne sous des conditions relativement humides, et comme annuelle s'il devient trop sec. Son introduction dans les savanes du grand Nord de l'Australie a accru la production bovine de $1\text{-}2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ de poids vif à $35\text{-}40 \text{ kg}$ en cas d'utilisation de P comme fertilisant. Sans fertilisation, la production devient $5\text{-}10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ avec l'introduction de *Stylosanthes hamata*, mais celle-ci n'a pas pu être maintenue. En utilisant des légumineuses et plus de P, la production animale augmente grâce à l'augmentation de la capacité de charge (de $15\text{-}20 \text{ ha UBT}^{-1}$ à $1\text{-}2 \text{ ha}$), et à l'augmentation de la production par tête de 30 à $60 \text{ kg UBT}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Breman, 1993).

3.2. Supplémentation

Plusieurs combinaisons suppléments/fourrages bruts ont déjà été testées. La supplémentation de la paille de mil avec du tourteau de coton (Kaasschieter et al., 1994) est présentée ici comme exemple. L'ingestion maximale (de la matière organique) de la paille de mil par animal est fortement influencée par le niveau d'offre de la paille : pour 4 lots de taurillons, on atteint des niveaux de refus fourrager supérieurs à 50%. L'ingestion maximale de la matière organique de la paille de mil (sans supplémentation) est estimée à $55,5 \text{ g kg d}^{-1}$. Une légère stimulation de l'ingestion de la paille est atteinte avec des petites quantités de supplément (jusqu'à $5 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$). Des niveaux de supplémentation plus élevés sont obtenus par une substitution de l'ingestion de la paille par le tourteau de coton.

L'essai montre, que grâce à l'hétérogénéité de la paille de mil, il y a une sélection des composantes les plus digestibles : l'ingestion de feuilles augmente de 22 à 25% avec un niveau d'offre élevé de la paille, et la digestibilité augmente de 0,07 unités pour chaque pour cent de refus fourrager.

Sur la base de la détermination de l'interaction entre l'ingestion de la paille et celle du tourteau, des courbes d'isoproduction ont été établies (Figure 2). Elles reflètent toutes les combinaisons possibles de paille et de tourteau pour atteindre un certain niveau de production.

Figure 2. Courbes d'isoproduction de paille de mil et de tourteau de coton.

La ration la plus rentable, qui dépend du rapport de prix « tourteau/paille », est calculée à partir de ces courbes, avec l'aide des tangentes dont la pente est déterminée par le rapport de prix fourrage brut/supplément. Dans l'exemple de la figure 2, le prix de quatre unités de poids de paille est égal à celui d'une unité de tourteau. Dans ce cas, la combinaison la plus rentable pour un animal de 200 kg au niveau d'entretien se compose de 3,9 kg de paille et 0,114 kg de tourteau par jour ; au niveau de 1,4 d'entretien (gain de poids moyen quotidien de 323 g par animal) la ration quotidienne se compose de 4,4 kg de paille et 1,026 kg de tourteau. Les niveaux de refus fourrager sont de 23 et 33% respectivement.

*Ce résultat est une illustration de l'importance de ce type de recherche. Il existe des fourrages bruts, comme la paille de riz, difficile à ingérer de façon sélective, au moins pour les bovins. Mais l'essai effectué par Ballo (1993) montre que, même avec la paille de riz, il y a sélectivité des bovins. La valeur d'un supplément dépendra donc ainsi de la quantité de paille offerte. Les cultures fourragères et les autres suppléments seront utilisés pour des grandes parties de la zone étudiée pour augmenter et améliorer l'utilisation des parcours en saison sèche. L'offre fourragère y sera en général bien plus hétérogène que celle de la paille de mil. Il y a cependant des situations où elle sera moindre, comme dans le cas des zones dunaires dominées par *Schoenefeldia gracilis*, et la disponibilité fourragère peut devenir si restreinte que le bétail ne peut plus se permettre de sélectionner. Aussi, la valeur d'un supplément bien défini en ce qui concerne sa qualité, ne peut être vraiment précisée que par rapport à la situation fourragère en ce qui concerne les fourrages bruts.*

3.3. Supplémentation et comportement

La traduction des résultats de supplémentation en étable vers l'utilisation paysanne des suppléments, pour des animaux qui cherchent la majorité de leur nourriture sur les terrains de parcours, est compliquée à cause du comportement du bétail. Ce comportement ne sera pas facilement compris, à cause de l'hétérogénéité des parcours : la micro-hétérogénéité mentionnée ci-dessus, et la macro-hétérogénéité à cause des végétations différentes. Une complication supplémentaire est la dynamique annuelle des végétations (Cissé, 1986 ; [Breman & de Ridder, 1991](#)).

La préférence du bétail pour la fraction de qualité supérieure a été montrée par Diallo (1978) pour la région étudiée. Diarra et Hiernaux (sous presse) n'observent pas une préférence significative des bovins pour certains parcours du ranch de Niono cependant.

C'est dans le même ranch que le projet a étudié l'effet d'une supplémentation de tourteau de coton sur le comportement fourrager des taurillons en saison sèche (van Nierop, 1993). Un lot de taurillons témoins (A) a été comparé avec des lots recevant 12 g kg PV^{0,75} de tourteau (B) et 44 g (C). Les taurillons supplémentés brouaient moins que ceux non-supplémentés (respectivement 26 et 37% du temps), et ils ruminait plus (respectivement 18 et 11% du temps). Il semble que l'ingestion totale des taurillons supplémentés est plus élevée que non-supplémentés, en se basant sur le nombre de coups de dents. Les graminées, les légumineuses herbacées et le pâturage aérien fournissent respectivement 60, 26 et 13% de la ration ingérée sur le parcours pour lot A et 57, 27 et 15% pour lot C, si en tout cas les simulations manuelles des coups de dents en sont une bonne base. Une différence significative n'a pas été constatée. Le lot A a pu garder son poids pendant la période d'observation de mi-janvier au mi-juin. Le lot B a montré un gain de poids moyen de 385 g kg⁻¹ d⁻¹, C de 660 g.

3.4. Pâturage amélioré

*Au démarrage du projet, dans l'hivernage de 1991, *Stylosanthes hamata* a été introduit dans une jachère de 13 ans sur un sol sablo-limoneux de la Station de Cinzana (700 mm an⁻¹). Le semis a été effectué en ligne à une profondeur de 2 cm, à une dose de 5 kg ha⁻¹ de semence. L'introduction a été favorisée avec 50 kg ha⁻¹ de TSP. La première année il n'y a pas eu d'exploitation. Le pâturage ainsi amélioré a été exploité les deux années suivantes par des moutons, au cours de la première moitié de la saison sèche. La période a été choisie vu la qualité relativement bonne des parcours naturels en hivernage et l'appétibilité restreinte de *Stylosanthes hamata* pendant cette période, et vu le risque de perdre le *Stylosanthes* au cours de la deuxième moitié de la saison sèche par des moisissures à cause d'une pluie précoce. La première question posée est celle de maintenir l'introduction de *Stylosanthes* par une gestion simple, en créant un parcours de haute qualité ne nécessitant pas une main d'oeuvre notable (voir 3.1).*

*Les expériences australiennes montrent que le succès dépend fortement de deux facteurs, influençant ensemble la capacité de compétition de *Stylosanthes hamata* : la disponibilité en P et l'intensité d'exploitation (Breman, 1993). Aussi deux niveaux de disponibilité de P ont été créés (PI : seulement la dose de P initiale ; PII : 50 kg ha⁻¹ an⁻¹ de TSP) et trois niveaux d'intensité d'exploitation (à peu près 1 UBT ha⁻¹ pour une période de 120 jours de début septembre à début janvier ; 1,5 à 2 UBT ha⁻¹ et 2 à 3 UBT ha⁻¹). Une rotation de 10 jours a été appliquée à l'exploitation.*

Les résultats sont peu prometteurs (Coulibaly et al., en publ.). Vers la fin de la saison des pluies '93, un peu plus de deux ans après l'introduction, et après une seule saison d'exploitation, il est difficile de trouver des pieds de *Stylosanthes hamata*, et ceux qu'on y trouve sont tout petits. L'introduction a été bonne néanmoins : la contribution de *Stylosanthes hamata* à la densité de plantes herbacées était de 3% en fin de saison '91. Cette contribution s'est réduite à 1% seulement en '92, bien que la contribution à la production de biomasse ait encore été notable. L'influence du TSP sur cette contribution des légumineuses naturelles à la production fourragère a été constatée en '92 : elles composaient de 9 à 10% de la biomasse à la fin de saison pour PI et PII, contre 5% pour le témoin. Il n'y avait pas de différence entre PI et PII ; la dose de 50 kg ha⁻¹ à l'installation sur PI suffisait aussi pour la deuxième année.

La quasi disparition après deux ans déjà signifie que le *Stylosanthes hamata* n'a pas pu se comporter comme une pérenne, comme on espérait. Ceci malgré une pluviosité de 630 et 600 mm an⁻¹ en '91 et '92. Au cours du séminaire de Kaduna en fin '92 (de Leeuw & Saleem, sous presse) il a été à plusieurs reprises suggéré que *Stylosanthes hamata* est plutôt une espèce convenant à la zone sub-humide d'Afrique de l'Ouest. L'introduction, avec une pluviosité en dessous de 1000 mm an⁻¹ n'a pas été couronnée de succès ; l'espèce ne se comporte pas comme pérenne dans ce cas (par exemple Toutain et al., sous presse ; Ajileye et al., sous presse). Les cultures fourragères et la banque fourragère de *Stylosanthes hamata* à Cinzana et à Niono du PSS peuvent être considérées comme un mélange des plantes annuelles et bisannuelles. A Niono ce sont les plantes annuelles qui dominent déjà fortement. L'aridité de la saison sèche en Afrique de l'Ouest en comparaison avec l'Australie tropicale ([Breman & de Ridder, 1991](#)) explique vraisemblablement la différence entre nos observations et les expériences australiennes.

On s'est retrouvé ainsi dans la situation décrite par [Penning de Vries et Djitéye \(1991\)](#), démontrant que les légumineuses annuelles ont peu de chance d'être introduites et/ou stimulées (avec P!) d'une façon rentable, à cause de la dynamique de la végétation et la dominance d'autres espèces. Nos observations ne sont pas exceptionnelles par rapport à la stimulation des légumineuses locales par la fertilisation avec P suivant [Penning de Vries & Djitéye \(1991\)](#). Quoiqu'en moyenne cette fertilisation entraîne une augmentation de la production totale de 30 à 40%, et une stimulation des légumineuses de 10 à 40%, il y a des années et des sites sans aucun effet. Le parcours de Cinzana présente quelques particularités de tels sites sans effet :

- [Koné & Groot \(en prép.\)](#) indiquent que la carence en P des sols est relativement restreinte ; une production légumineuse jusqu'à 5 t ha⁻¹ apparaît possible sans apport de P ;
- la graminée dominante est *Pennisetum pedicellatum*, une espèce à germination rapide, ce qui rend l'efficacité d'installation de *Stylosanthes hamata* très difficile ([Breman et al., 1980](#)) ;
- le recouvrement des espèces ligneuses est important, soit 20% environ ; cette situation ressemble à celle décrite par [Breman & de Ridder \(1991\)](#), où le phosphore ne stimule que très peu la production herbacée, tandis que les légumineuses herbacées sont à peine présentes.

Une solution au problème rencontré, à tester au cours de la saison suivante, pourrait être une période courte d'exploitation intense en hivernage : une dès les premières pluies, pour éliminer les plantules des espèces à germination rapide, et éventuellement une autre sur la végétation en pleine croissance, si la première n'a pas été suffisamment efficace. La germination lente protégera *Stylosanthes hamata* pendant la première période, l'appétibilité restreinte en seconde (de Leeuw & Saleem, sous presse). Le succès dépendra de la force de compétition de *Stylosanthes hamata*. Si elle n'est pas supérieure à celle de *Zornia glochidiata*, il sera possible de faire dominer l'espèce seulement sous une intensité d'exploitation si élevée, que la production herbacée moyenne diminuera de 20% ou plus, tandis que la disponibilité des protéines dans la biomasse aérienne sera doublée en comparaison avec celle de la végétation naturelle ([Penning de Vries & Djitéye, 1991](#)). Mais le comportement comme bisannuelle pourrait déjà mener à un résultat plus positif (voir « banque fourragère » ci-dessous).

La première année d'essai, n'a pas permis de trouver la gestion permettant un tel résultat. On ne doit donc pas s'étonner du fait que l'influence sur la production des moutons ait été restreinte. La contribution maigre de *Stylosanthes hamata* à la production fourragère n'a provoqué qu'une augmentation de la production de poids vif par ha de 5 à 18 kg. Ceci à un taux d'exploitation optimal (?) de 0,9 UBT ha⁻¹ pendant 120 jours, ou bien de 0,3 UBT ha⁻¹ pour un pâturage pendant toute l'année.

3.5. Banque fourragère

Les résultats avec la banque fourragère à Niono sont plus encourageants, malgré la pluviosité plus basse (Coulibaly et al., en publ.). Ceci est en soi déjà une indication de la capacité de compétition limitée de Stylosanthes hamata, car la présence d'autres espèces étaient encore faible l'année après l'installation du peuplement de Stylosanthes hamata en culture pure.

La banque du Stylosanthes hamata a été installée comme culture pure en 1991 en ligne continue (interligne 50 cm), semée à la dose de 5 kg de semence par hectare. Une dose de 50 kg ha⁻¹ de TSP a été appliquée à l'installation, en 1992. A côté des 1,5 ha de la banque, 5 hectares du ranch contigus à la banque et protégés depuis 1991 servaient de parcours naturel aux animaux et comme témoin. La banque fourragère a été divisée en deux. Ces parcelles furent exploitées en deux périodes : la parcelle PI pendant la période de floraison-fructification (90 jours) ; la parcelle PII après la fructification (90 jours). Le temps de conduite des moutons a été fixé à 9 h, dont 3 h sur la banque et 6 h sur le parcours naturel. Le même système de rotation qu'à Cinzana (pâturage amélioré) a été appliqué. Trois taux de charge ont été appliqués pour la banque, pour déterminer la charge optimale du point de vue du maintien de la banque et de la production animale. Ces taux ont varié de 1 à 3,8 UBT ha⁻¹. La moyenne pondérée pour les heures sur la banque et sur le parcours naturel a été de 0,45 UBT ha⁻¹ pour les lots sur PI et 0,69 pour ceux sur PII, contre 0,33 UBT ha⁻¹ pour le lot témoin.

La production moyenne de la banque fourragère de l'ordre de 3,8 t ha⁻¹ de matière sèche est appréciable compte tenu de la faible pluviosité de 370 mm en 1992. Avec l'application de P, la production de Stylosanthes hamata est limitée par la disponibilité en eau. On devrait s'attendre à une production maximale de 4,5 t ha⁻¹ de légumineuses sous la pluviosité enregistrée ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)).

Le gain moyen quotidien de poids vif pendant la première période (de mi-septembre au mi-décembre) a été 65 g par tête pour les lots ayant eu accès à la banque de Stylosanthes, contre 51 pour le témoin. Pendant la deuxième période (de mi-décembre à mi-mars) la différence (non-significative) disparaît entièrement : les valeurs moyennes sont respectivement 51 et 52 g par tête. Cette manque de différence significative est étonnant vu la teneur en azote de la banque fourragère comparée au fourrage du parcours. Pour la banque, elle a diminué de 19 g kg⁻¹ de matière sèche au début octobre jusqu'à 14 à 15 à partir de décembre. Pour le parcours naturel la teneur a diminué parallèlement de 8 à 5 g kg⁻¹, donc la différence a été toujours d'à peu près 10 g kg⁻¹. Il est vraisemblable que c'est la disponibilité élevée de fourrage par tête, permettant une sélection efficace, qui fait que le lot témoin arrive à croître (presque) comme les autres. Cette disponibilité a été de presque 7 t UBT⁻¹ pour la première période, contre plus de 4 pour la deuxième.

La différence entre les taux de charge cause néanmoins une différence notable entre la production animale par hectare pour les lots qui ont eu la banque comme supplément et le lot témoin : pour la première période les productions moyennes ont été respectivement 32 et 20 kg ha⁻¹ de poids vif, pour la deuxième 24 et 15. L'utilisation de la banque apparaît ainsi la plus intéressante dès la fin de l'hivernage. Il reste à prouver cependant encore qu'il est possible de maintenir la banque avec une exploitation au cours de la floraison-fructification. L'exploitation de la banque pendant cette période risque de compromettre sa pérennité, surtout si Stylosanthes hamata se comporte comme une annuelle. Les résultats ci-dessus concerne un peuplement de Stylosanthes hamata, l'année suivant l'installation, avec une importance non négligeable de plantes dans leur deuxième année. La disponibilité d'azote dans sa biomasse aérienne était 75 kg ha⁻¹. Les peuplements assez purs de la légumineuse annuelle Zornia glochidiata, qui se maintiennent sous une exploitation intensive, ne contiennent pas beaucoup plus que 20 kg ha⁻¹ d'azote à la fin de la saison de croissance à Niono. La fertilisation avec P cause une augmentation jusqu'à 35 kg ha⁻¹ à peu près ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#)).

4. La planification du développement rural à buts multiples

4.1. Introduction

La recherche présentée dans les chapitres 2 et 3 vise à quantifier le potentiel des engrais azotés et phosphatés pour l'intensification de l'élevage, et ceci en rapport avec différentes combinaisons sols et climats de la région étudiée. Il sera possible d'indiquer combien il faut au minimum de N et/ou de P pour un kilogramme de viande ou un litre de lait de plus. Aussi sera-t-il possible de se prononcer sur la rentabilité de l'utilisation des engrais pour arrêter la surexploitation. [Penning de Vries et Djitéye \(1991\)](#) ont donné une réponse partielle pour la situation malienne de la fin des années quatre-vingt, quand les engrais coûtaient tous à peu près 100 FM (1 F CFA était 2 FM), tandis que le prix de foin de brousse (taux de N 5 g kg⁻¹ de matière sèche) était 10 FM kg⁻¹. Le foin des graminées fertilisées (N, P, K, etc.) coûterait 17 FM kg⁻¹, celui des légumineuses, fertilisé avec du P 22 FM kg⁻¹. La production supplémentaire à la production naturelle serait respectivement de 5 et 3 t ha⁻¹ pour une pluviosité de 500 mm. L'efficacité de l'engrais est prévue augmenter au cours des années d'utilisation, par une amélioration du rapport C/N de la matière organique du sol. Aussi, le prix du foin de graminées par exemple deviendrait à terme 14 FM kg⁻¹.

Il ne suffit pas de connaître le prix de production à un moment donné et à un certain endroit, pour évaluer l'opportunité d'une utilisation des engrais pour l'intensification de l'élevage. Il existe d'autres options d'intensification, et il est possible que d'autres usages des ressources naturelles et des autres moyens de production soient plus aptes à freiner la surexploitation. La possibilité existe en plus, qu'il puisse y avoir des problèmes plus urgents que la surexploitation, et d'autres objectifs de développement rural.

L'ESPR et le CABO se sont penchés sur ce problème complexe pour la région de Mopti au Mali ([Veeneklaas et al., 1990](#)). Dans leur ouvrage « Scénarios de développement. Compétition pour des ressources limitées », ils présentent les résultats de l'élaboration de la méthodologie de la programmation linéaire pour la planification à buts multiple (PLBM ; de Wit et al., 1988), comme outil pour la formulation de programmes régionaux de développement au Sahel. La méthode inclut l'utilisation d'un modèle d'intrants et d'extrants, d'une série de variables-objectifs, et une procédure de décision interactive à critères multiples. Dans le modèle d'intrants-extrants, les coefficients techniques définis décrivent la série de techniques de production supposée être disponible pour la région de Mopti. Ils incluent les techniques de production couramment utilisées, celles pratiquées dans des régions comparables, dont l'introduction dans la Région pourrait être envisagée (techniques alternatives), ainsi que celles qui seraient techniquement réalisables, dans les conditions agro-écologiques prévalantes, si des niveaux d'intrants externes plus élevés étaient appliqués (techniques potentielles). Des intrants clefs impliqués, décrits d'une façon quantitative, concernent les ressources naturelles.

Les coefficients techniques de production alternatives et potentielles ont été dérivés des résultats des modèles de simulation comparables à ceux présentés dans le tableau 2. Les variables-objectifs couvrent, dans la mesure du possible, les intérêts de la Région : Les aspirations des divers groupes d'intérêts (population et décideurs politiques, producteurs et consommateurs, éleveurs, agriculteurs et pêcheurs, etc.) ont été traduites en termes appropriés au modèle PLBM.

De nombreuses restrictions influencent la réalisation de ces objectifs, ainsi que leurs interrelations. La valeur optimale de chacune peut être influencée par la série de restrictions et de relations spécifiées dans le modèle, ainsi que par les restrictions spécifiées pour tous les autres objectifs. Les principales contraintes formalisées ont été la compétition pour la terre et pour la main-d'oeuvre, les restrictions en boeufs de labour, en fumier et en fourrage, et la limite supérieure des captures de poisson. Dans les processus de production, les producteurs affrontent des problèmes socio-économiques débordant le seul cadre des contraintes physiques ci-dessus. Il est impensable que les contraintes techniques puissent être levées sans la résolution des contradictions socio-économiques telles les problèmes fonciers, l'étroitesse du marché, et la faiblesse de l'épargne rurale, des structures d'encadrement et de vulgarisation, etc.

[Veeneklaas et al. \(1990\)](#) ont défini vingt variables-objectifs qui peuvent être optimisées et auxquelles un minimum d'exigences peut être imposé. Dans cette série plusieurs groupes ont été différenciés. Il s'agit des objectifs de production physique au cours d'une année de pluviosité normale (par exemple la production céréalière, la production de viande et la taille totale du troupeau), des objectifs financiers (par exemple le revenu brut total et les intrants financiers aux cultures), des risques au cours d'une année sèche (par exemple la réduction au minimum du déficit

céréalière et le nombre de têtes de bétail menacées), la maximisation de l'emploi, la limitation de l'émigration, etc.

Sur la base de ces objectifs de développement, ainsi que des principales contraintes et relations introduites dans le modèle PLBM, il a été possible d'élaborer deux scénarios de développement en ce qui concerne l'utilisation des terres. De même, il a été possible de déterminer les niveaux de production et d'intrants par rapport à ces scénarios. Chaque scénario a été caractérisé par l'objectif optimisé et par la série de restrictions imposées aux autres objectifs. Le scénario à Risques et à Revenus plus élevés (scénario-R) a été caractérisé par un surplus de production élevé en termes financiers dans une année normale, des exigences assez faibles en ce qui concerne les niveaux de production minimaux, et l'acceptation d'un déficit important en grains, et d'un nombre élevé d'animaux menacés au cours d'une année sèche. Le scénario auto-Suffisance alimentaire et Sécurité de production (scénario-S) a été caractérisé par une auto-suffisance alimentaire de base, également pendant les années sèches, une répartition uniforme de la production parmi les zones agro-écologiques, un certain degré de diversification, un niveau d'emploi élevé, etc.

Quelques résultats sont présentés ci-dessous pour donner une impression de la méthodologie, qui est aussi employée par le projet (l'EMS), et pour montrer des conséquences de l'optimisation par rapport à certains objectifs. Le modèle indique une préférence relative pour la pêche, le jardinage (échalote!) et l'élevage pour la réalisation du scénario-R ; la superficie de cultures et de jachère est relativement restreinte, de l'engrais est notamment utilisé sur le riz et sur l'arachide, et du fumier d'abord sur les cultures maraîchères. Le nombre de bovin est un peu plus élevé que pour la réalisation du scénario-S, mais le nombre de petits ruminants est de 50% plus élevé. Pour la réalisation du scénario-S beaucoup de mil devrait être produit : 50% de plus que pour le scénario-R. La production rizicole devrait également augmenter de 50%. L'intensité d'utilisation des engrais doit être presque deux fois plus élevée pour S que pour R. L'engrais est utilisé surtout sur le mil, mais aussi en quantité non-négligeable sur le riz. Le fumier sert d'abord les cultures maraîchères, comme pour le scénario-R.

Une réduction du prix des engrais de 50% (par subvention par exemple) accroît l'utilisation d'engrais azoté pour la réalisation du scénario-R de 150%, celle d'engrais phosphaté même de 390%. Pour le scénario-S, l'augmentation ne serait que de 20 et 40% seulement. Elle sert à produire plus d'échalotes, de niébé et d'arachide. L'augmentation des prix agricole de 50% crée une augmentation du produit régional brut, mais elle n'a presque pas (scénario-S) ou très peu (-R) d'influence sur l'utilisation des terres proposée par le modèle.

La culture fourragère de niébé n'est choisie que pour le scénario-S, sur 6% de la surface cultivée. De l'engrais phosphaté est utilisé sur cette culture dans ce cas.

Ce résultat en rapport avec la région de Mopti coïncide avec la conclusion de l'équipe « Club du Sahel/CILSS », qui a analysé au milieu des années quatre-vingt les conditions de l'élevage au Niger, au Burkina Faso et au Mali (Bremen & Traoré, 1987) : Les prix de l'engrais, du bétail et des cultures sont tels, que le développement de l'élevage devrait être basé sur une stimulation indirecte, à travers l'intensification des cultures.

Il appartient à l'EMS d'actualiser et d'approfondir cette connaissance. Son approche est résumée dans le schéma ci-joint. Ce schéma se passe en grande partie de commentaire. Il est signalé néanmoins que :

- Les activités à définir (2b) sont beaucoup plus nombreuses que celles élaborées et étudiées par les autres équipes. Il s'agit des techniques de production couramment utilisées, des techniques alternatives, ainsi que des techniques potentielles. Et ceci en ce qui concerne l'élevage, l'agriculture (maraîchage y comprise), la foresterie et la pêche. L'EMS exploite à côté des idées internes concernant les options techniques d'une utilité éventuelle au vu des objectifs (1b) et des contraintes (1b), les résultats de l'enquête, organisée dans ce but par le projet dans les pays sahéliens et chez des experts sahéliens ailleurs (Section 4.2).

- Les conditions économiques (4a et b) ne se limitent pas à la situation malienne actuelle. Les autres pays sahéliens sont concernés, et des situations potentielles sont analysées à côté de la réalité. Car l'EMS n'a pas seulement comme tâche de déterminer les rapports frais / bénéfiques des multiples activités, de les analyser et de les comparer (3b et 4b), l'équipe doit faire aussi des propositions de stratégies économiques et sociales (7a) pouvant mener à une amélioration de l'accessibilité des options techniques potentielles pour les paysans de la région (Figure 3, flèches 3).

- Il est question d'une liaison partielle entre la recherche de l'EMS et celle de l'EPF et de l'EEF. Les deux dernières équipes s'occupent de la recherche représentée par les flèches 2 de la figure 3, et ceci seulement en rapport avec l'amélioration de la situation fourragère et l'optimisation de la supplémentation. Mais la connaissance générale des

experts concernés, et leurs résultats de recherche rejoignent ceux de l'EMS pour la définition des activités (schéma, 2b) et l'identification des options techniques à favoriser (7b), à travers la confrontation des scénarios de développement (5) et de la description & analyse de la réalité agro-écologique (6b).

[Schéma Approche EMS](#) PSS; Exploitation optimale des éléments nutritifs en élevage . Approche de l'Equipe modélisation des systèmes (06-03-1992))

Figure 3. Le rapport le plus probable entre l'efficacité des options techniques et le potentiel de production des terres (1 ; déterminé par l'environnement naturel et le contexte socio-économique), dans un environnement économique libéral. La direction à donner à la recherche agro-écologique (2 ; EPF et EEF) et socio-économique (3 ; EMS), en vue d'éviter la marginalisation des populations et des régions par les options concernées.

L'approche présentée sera utilisée pour la région d'intervention en tant que telle (Sahel méridional et savane soudanaise septentrionale) et pour une étude de cas (cercle de Koutiala, au Mali). Il y a deux raisons principales pour ajouter l'étude de cas. Les résultats du modèle PLBM seront influencés par les agrégations et les simplifications indispensables pour une analyse au niveau de la région étudiée. L'étude de cas permettra de mieux comprendre les conséquences (Kruseman, 1994). En plus, il a été jugé utile d'employer le modèle en collaboration directe avec un utilisateur futur des résultats du PSS, pour identifier les contraintes de l'introduction de l'outil « modèle PLBM ». Il s'agit de l'équipe de recherche des systèmes de production de la région de Sikasso. Un autre partenaire est le DLV, un groupe de recherche néerlandais qui se concentre sur l'élaboration et l'application des méthodes pour l'intégration des recherches agro-écologiques et socio-économiques, et ceci par rapport à l'utilisation durable des terres et la sécurité alimentaire (Anon, 1993 ; Kruseman, 1994).

Tenant compte de la politique sahélienne visant une production rurale plus durable, l'EMS est en train de définir des techniques durables à côté des pratiques actuelles qui mènent souvent à un épuisement ou à une dégradation des ressources naturelles. Le DLV analysera le comportement paysan par rapport aux conditions socio-économiques, pour mieux savoir ce qu'il faut comme stratégies nationales afin de favoriser un changement de comportement en faveur des techniques durables. Un dernier partenaire, Tj. Struif Bontkes du Département d'Agronomie Générale de l'UAW, est en train d'adapter son modèle de simulation dynamique du développement rural (Struif Bontkes, 1994) pour le cercle de Koutiala. Ce modèle sera utilisé au cours de l'exécution des éléments 6 et 7 (voir schéma), pour vérifier si les stratégies nationales proposées mèneront réellement à une production plus durable.

4.2. Vues sur le développement rural sahélien

Le projet s'est efforcé de dégager une impression des idées existantes concernant les options techniques, les systèmes de production et les stratégies prometteuses pour le développement rural dans les pays sahéliens. A côté de la recherche bibliographique, une enquête a été organisée. Les 150 fiches distribuées ont eu un taux de réponse de 33%. Le tableau 5 présente les résultats principaux de l'ensemble des réponses.

Les résultats présentés semblent indiquer des opinions bien répandues. Ils dénotent peu de différences dans le nombre de fiches traitées : ils ont à peine changé après traitement des 15 à 20 premiers fiches. Le tableau indique que le PSS doit porter attention, au cours de la modélisation ou de l'évaluation à des résultats, des aspects tels que la gestion des ressources individuelles et du terroir (au travers des interventions et du droit foncier/législation), des cultures céréalières et de la sécurité alimentaire, de la production laitière, la lutte anti-érosive et l'utilisation du fumier, de la politique de prix et des crédits, etc.

Les indications sont plus explicites par rapport aux options techniques que rapportées aux mesures socio-économiques, vu le poids des choix 1, 2 et 3. Quelques autres aspects des résultats de l'enquête ne sont pas visibles dans le tableau. Ils sont néanmoins utiles pour les réflexions sur les stratégies du développement rural de la région.

Il est intéressant de savoir quelles options proposées ont eu peu de support, car il y avait beaucoup plus d'options que les trois choix présentés (10 en moyenne pour les quatre sujets au niveau de la parcelle, et 8 en moyenne pour les sujets aux niveaux d'intégration supérieurs). Il y avait par exemple peu d'adhésion pour la création des points d'eau et les soins vétérinaires visant respectivement l'amélioration de la situation fourragère et l'optimisation des éléments

nutritifs, tandis que ces options étaient jusqu'à récemment les éléments clés des projets de développement de l'élevage (Breman & Traoré, 1987). Il y avait également peu d'adhésion pour le niébé comme culture à fertiliser, pour l'irrigation comme alternative aux engrais pour l'amélioration de la production, et pour le chameau comme animal à promouvoir. La promotion du rôle des femmes est à peine mentionnée comme approche efficace pour favoriser le développement rural. Ni la décentralisation, ni la sécurité sociale sont regardées en général comme des facteurs sociaux clés pour les systèmes agraires durables. Très peu d'adhésion ont reçu les subventions et les politiques d'impôts et d'importation comme facteurs économiques clés pour les systèmes agraires durables ; ce sont la politique de prix et les crédits agricoles qui sont préférés dans ce cas (voir tableau 5).

Les interrogés avaient la possibilité, pour chaque sujet, d'ajouter des options non mentionnées sur les fiches d'enquête. Ce n'est que sur un point pour un sujet que plusieurs personnes ont ajouté une même option. Il s'agit du boeuf de labour comme animal à favoriser pour le développement rural.

Tableau 5. Opinions générales sur les options techniques, les systèmes de production et les stratégies prometteuses pour le développement rural dans les pays sahéliens. Indication du premier, du deuxième et du troisième choix en fonction de leurs poids relatifs respectifs.

Option, système ou stratégie	1	2	3
<i>niveau parcelle</i>			
Options alternatives* pour l'utilisation des engrais-N et -P l'amélioration de la situation fourragère			
gestion des pâturages	50		
amélioration de l'utilisation des sous-produits		17	
amélioration des pâturages			16
Options alternatives* pour l'optimisation de l'utilisation des éléments nutritifs en élevage à travers l'optimisation de la supplémentation			
gestion des troupeaux	42		
lutte anti-érosive		30	
introduction de légumineuses dans les parcours			21
Options alternatives* prometteuses pour l'utilisation d'engrais sur les cultures fourragères			
céréalières	50		
maraîchères		25	
cotonnières			14
Options alternatives* prometteuses pour les engrais chimiques			
fumier	43		
lutte anti-érosive		26	
légumineuses			22
<i>niveau système/ferme</i>			
Animaux utiles pour déclencher le développement rural			
vaches laitières	53		
volaille		29	
ânes			17
Approche efficace pour favoriser le développement rural			
gestion du terroir	31		
éducation/vulgarisation		26	
lutte anti-érosive			22

niveau régional/national

Facteurs clés pour les systèmes agraires durables ; caractère social			
droits fonciers	38		
sécurité alimentaire		35	
accès au moyens de production			33
Facteurs clés pour les systèmes agraires durables ; caractère économique			
politique de prix	38		
crédits agricoles		35	
infrastructure commerciale			17
Objectifs du développement rural			
amélioration du niveau de vie rurale	45		
utilisation durable des ressources naturelles		44	
sécurité alimentaire générale			41

* *alternatives relatives aux choix du projet PSS, présentés dans les chapitres précédents*

Les résultats, dans leur ensemble, montrent une logique interne. Le poids relatif du choix pour le compost comme alternative aux engrais chimiques s'approche de celui du fumier, et le poids relatif du choix de la politique d'exportation comme facteur économique clef pour les systèmes agraires durables est presque le même que celui de l'économie internationale par exemple. Il y a quelques contradictions cependant : L'introduction des légumineuses dans les pâturages en utilisant le phosphore est appuyée d'une façon modérée, mais la culture de niébé comme spéculation pour la rentabilisation de l'introduction d'engrais phosphaté. Et l'infrastructure commerciale est pour plusieurs interrogés un facteur économique clef pour les systèmes agraires durables, mais le choix du réseau routier a un poids relatif très bas.

Les résultats présentés par le tableau 5 ne dénotent que peu de différences en fonction des personnes ayant répondu. Trois groupes ont été distingués parmi les 50 réactions ; ils se chevauchent cependant en partie : les autochtones (34%), les personnes qui s'occupent directement des paysan(ne)s (38%) et celles qui s'occupent du vrai Sahel, i.e. la région présentant une pluviosité moyenne inférieure à 600 mm an⁻¹ (24%). Pour cinq des neuf sujets traités le premier choix des trois groupes est celui de l'ensemble des interrogés ; il s'agit des options techniques, les premiers cinq sujets du tableau.

Dans la plupart des cas, il n'y a que des différences légères entre le poids relatif des trois premiers choix. Certaines exceptions sont à signaler cependant. Le groupe qui se distingue le plus de la moyenne est le dernier, les réactions de ceux qui s'occupent du Sahel proprement dit. Il s'oppose dans tous les cas importants, mentionnés ci-dessous, au premier groupe, les réactions des autochtones, le deuxième groupe occupant une position intermédiaire avec une seule exception.

Ceux qui s'occupent du Sahel proprement dit s'intéressent logiquement peu aux cultures de coton et d'arachide (« options prometteuses pour l'utilisation d'engrais ») et ils n'attachent que peu de prix au droit foncier et à la politique de prix (comme « facteurs clefs pour les systèmes durables »). Mais ils donnent plus de poids que les autres à l'introduction des légumineuses dans les pâturages (sans ou avec P), à la sécurité alimentaire et sociale, aux crédits agricoles, à l'infrastructure commerciale, au réseau routier, à l'industrialisation et à l'économie internationale. C'est le deuxième groupe, ceux qui travaillent au niveau paysan, qui attachent plus que les autres du prix à la culture du coton pour rentabiliser l'utilisation des engrais.

Pour ce qui est des options techniques, l'enquête est formulée d'une telle sorte que les alternatives pour les choix du projet PSS pourraient être identifiées. Ainsi il n'est pas étonnant que la valeur des intrants internes s'accroisse, où le projet se concentre sur l'augmentation de l'utilisation des engrais chimiques. Le degré de préférence pour les solutions techniques et socio-économiques exclusivement basées sur une meilleure utilisation des ressources locales contre celle favorisant des ouvertures vers l'extérieur reste néanmoins une mesure utile pour savoir si on partage le point de vue

du PSS que la surpopulation est à la base de la surexploitation des ressources naturelles (1.1). Vu le poids relatif moyen des choix, les options qui signifient une (meilleure) utilisation des ressources locales ont reçu deux fois plus de support que celles qui impliquent la nécessité d'une ouverture vers l'extérieur.

Pour deux sujets il y avait la possibilité de se prononcer directement sur cette question. Par rapport à l'approche visant à favoriser le développement rural, la planification familiale n'a presque pas eu de support et la croissance démographique a eu un support modéré par rapport aux facteurs pour les systèmes agraires durables. Il faut donc conclure que beaucoup de gens n'accepte pas la carence des ressources locales par rapport aux besoins de la population comme facteur clef du problème sahélien.

4.3. Description des ressources

Les ressources en zone soudano-sahélienne du Mali ont été décrites (Sissoko et al., en publ. (a)). Le document présente :

- un aperçu général de la situation socio-économique général du Mali ;*
- un aperçu de la socio-économie de la région soudano-sahélienne, la zone étudiée ;*
- la définition et la découpage de la zone étudiée ;*
- la description des ressources (sols, climat, population et main d'oeuvre, animaux, ligneux, eaux, etc.).*

La région malienne étudiée (300-900 mm an⁻¹) est caractérisée, en ce qui concerne les sols, notamment par l'ensemble détritique, suivie par l'ensemble éolien, avec l'ensemble fluviatile à la troisième place. Ainsi les sols limoneux dominent et les sols squelettiques sont assez nombreux. Les sols sableux sont loin d'être négligeables, en particulier dans la moitié septentrionale de la région. Les sols lourds sont relativement rares. La densité démographique est de 15 habitants km⁻² en moyenne ; elle varie cependant entre moins de 5 et plus de 30 par sous-zone. Plus de 80% de la population est liée au secteur primaire. Les céréales sont de loin les cultures les plus importantes, le mil domine à son tour les cultures céréalières. La densité du bétail est de plus de 10 UBT km⁻² ; elle varie entre 5 et 25 par sous-zone. La variation est plus ou moins parallèle à celle de la population, ce qui pourrait indiquer que l'objectif principal de l'élevage est devenu l'apport à l'agriculture (Leloup & Traoré, 1989). Ce sont les bovins qui composent 68% de l'effectif exprimé en UBT, les petits ruminants 22%. Les zones à faible disponibilité de points d'eau représentent en général une faible proportion de la superficie totale par sous-zone, avec l'exception de la partie orientale de la zone étudiée. L'importance des ressources ligneuses par rapport aux besoins des populations varie fortement par sous-zone. Le taux de couverture des besoins est de 1,4 au niveau national. Il diminue de 2,0 pour la partie occidentale de la région d'étude, de 1 au centre, à 0,6 dans l'est.

L'utilisation du modèle PLBM pour la région entière et par sous-zone, approfondira la compréhension de l'influence des diverses variables sur le processus d'optimisation. Il y a des sous-zones qui se trouvent entièrement dans le Sahel, il y en a dans la savane. Il y a qui sont dominées par les sols sableux, d'autres par des sols lourds. Ceci aidera à généraliser et à extrapoler les résultats obtenus sur la base de l'analyse de la région soudano-sahélienne du Mali. Pour être plus apte à se prononcer aussi sur des situations ailleurs, et pour savoir dans quel mesure des solutions trouvées ailleurs peuvent être appliquées également au Mali, une approche supplémentaire a été prévue. Il est impossible de répéter la recherche au cours de la phase actuelle du projet pour chaque pays sahélien. On essaiera cependant, si le temps le permet, d'analyser l'influence des variables clés, en créant des situations où certaines variables dominent plus fortement qu'au Mali, ou par l'adaptation des variables-objectifs. Par exemple, une plus grande dominance de sable aidera à comprendre les différences entre le Niger et le Mali. Il est possible de limiter les simulations à une des deux zones climatiques, il est possible de jouer avec l'état des ressources (terrains de parcours, champs et ressources ligneuses), etc. La conséquence de l'objectif « autosuffisance alimentaire » variera beaucoup avec la densité démographique et avec le potentiel de production des ressources. La variation des gammes de prix peut être utilisée pour analyser l'influence du pouvoir des économies, des gouvernements.

4.4. Les cultures

Bien plus de temps que prévu a dû être consacré à l'adaptation des méthodes employées par l'ESPR à Mopti (van Duivenbooden & Gosseye, 1990), en ce qui concerne les tableaux d'intrants et d'extrants des techniques de cultures

diverses. L'adaptation concerne notamment la façon de décrire la durabilité. Le taux de recouvrement des engrais sera traité plus en détail. On tiendra compte du maintien de la teneur du sol en matière organique, et de la vitesse d'infiltration de l'eau de pluie. Le modèle pourra choisir entre différentes utilisations de la paille, sous-produit des cultures : fourrage en étable, fumier organique et fourrage sur le champ (plus brûlés pour la préparation des champs). Un rapport préliminaire est disponible à ce sujet.

L'approche a déjà été utilisée pour la description et l'analyse économique partielle des activités de mil dans la zone de Koutiala (Touré, 1994). 19 techniques de production de mil ont été décrites et analysées. Les meilleures dégagent une valeur ajoutée par hectare de 100 à 200.000 F CFA [3], et permettent une rémunération de la main d'oeuvre de 600 à 700 F CFA par jour. Elles garantissent un gain moyen de presque 3 F CFA pour chaque franc investi. Tant dans une situation de diminution du prix actuel du grain (55 F CFA par kg) que dans une situation d'augmentation de 25% du prix actuel des engrais (N = 240 F CFA par kg, P 404 et K 240), ces activités gardent leur rentabilité (en supposant que notre tableau d'intrants et d'extrants soit bon). En terme de niveau de rentabilité, les activités semi-intensives sont les plus intéressantes. Les activités intensives se distinguent en terme de valeur ajoutée par hectare.

A l'occasion d'une étude préliminaire à cette analyse détaillée, il a été recherché si l'utilisation des engrais serait une option faisable pour la production de mil dans les pays sahéliens (Breman, 1993). Les résultats jettent une lumière supplémentaire sur la conclusion de la rentabilité des activités semi-intensives, bien que le tableau d'intrants et d'extrants utilisé diffère (utilisation de l'approche de l'ESPR-Mopti ; prix légèrement différent). Six activités définies par l'ESPR ont été analysées, allant de la production extensive, en utilisant la jachère ou le fumier pour maintenir la fertilité du sol, les deux avec le daba ou la traction bovine pour le labour, via la production semi-intensive avec un niveau bas d'utilisation d'engrais, et la production intensive en utilisant la dose maximum pour la région. Six autres techniques ont été incluses :

- l'agroforesterie comme moyen de maintenir le rendement de mil, l'agroforesterie combinée à une utilisation intensive de l'engrais (diminution de pertes des éléments nutritifs) ;
- la culture mixte de mil et de niébé (système indigène ; système améliorée de l'INRA au Niger ; ce dernier en utilisant de l'engrais phosphaté) ;
- contrôle de l'érosion hydrique complète, sans et avec de l'engrais.

La rémunération par homme-jour varie entre 300 et 600 F CFA. Le nombre de personnes à nourrir par hectare augmente bien avec l'intensification. Là où la surpopulation n'est pas encore une préoccupation dominante, il est bien plus intéressant de pratiquer la culture mixte + engrais phosphaté que la culture la plus intensive, vu les rapports frais/bénéfices. L'agroforesterie en culture intensive se trouve mi-chemin entre les deux systèmes. Les frais pour nourrir une personne de plus se lève à 5000 F CFA an⁻¹ pour la culture mixte + P, 8000 F CFA pour l'agroforesterie intensive et plus de 10.000 F CFA pour la culture intensive « simple » (= copie des cultures occidentales). L'hypothèse à la base de ces estimations est un taux de recouvrement de N de 80%, grâce à l'amélioration de la quantité et de la qualité de la matière organique du sol. Ce taux ne sera atteint sur la majorité des sols qu'après une période considérable d'adaptation, au cours de laquelle le taux de recouvrement augmentera de 40% ou moins à ce taux élevé ([Penning de Vries & Djitèye, 1991](#) ; [van Duivenbooden, 1992](#)).

4.4. L'élevage bovin

L'exemple bovin a été élaboré dans le cadre de la définition des techniques de production animale ([Sissoko et al., en publ. \(b\)](#)). Le tableau d'intrants et d'extrants contient actuellement 9 activités de production de viande, toutes basées d'abord sur les terrains de parcours comme source fourragère. Elle varient selon le niveau d'intensification (contribution des cultures fourragères et des concentrés à l'alimentation) et avec les types de suppléments utilisés (fanés de niébé ou d'arachide, ou « aliment bétail huicoma », basé sur les tourteaux et des coques de coton). Parallèlement à l'augmentation de l'utilisation des suppléments, les soins vétérinaires et les frais d'infrastructure augmentent. Trois niveaux de productivité ont été analysés, liés à une situation alimentaire permettant une croissance annuelle nette des jeunes sevrés de 50, 75 et 100 kg de poids vif (voir 2.3). La viande est considérée comme produit principal, vu l'objectif des techniques de production définies, le lait et le fumier comme sous-produits.

La rémunération de la main d'oeuvre (750 F CFA homme-jour⁻¹) externe ne laisse un bénéfice net qu'en cas de

technique semi-intensive sur la base de l'aliment bétail : 3580 F CFA UBT⁻¹ an⁻¹. En utilisant la main d'oeuvre familiale, un bénéfice net est obtenu dans tous les 9 cas. Il mène à une rémunération par homme-jour qui est la plus élevée dans l'utilisation de l'aliment bétail : environ 3000 F CFA UBT⁻¹ pour les techniques intensive et semi-intensive. Dans trois cas ce montant s'élève à peu près à 2500 F CFA, pour les techniques semi-intensives basés sur les fanes de niébé ou d'arachide, et la technique intensive basée sur l'aliment bétail plus les fanes de niébé. Un peu moins rémunératrices sont les techniques intensives exploitant les fanes de niébé ou d'arachide. Encore moins rapportent les deux techniques extensives définies : près de 1900 F CFA homme-jour⁻¹. Par an et par UBT, les techniques extensives, semi-intensives et intensives demandent respectivement 13, 14 et 15 homme-jours de travail. Ainsi les revenus annuels se trouvent entre 50.000 et 70.000 par an seulement.

Pour la suite de la description des techniques de production, la caractérisation des suppléments deviendra plus abstraite : les combinaisons fourrage brut-supplément sont caractérisées à partir de quelques propriétés du matériel. C'est ainsi que le nombre de rations à décrire et à analyser reste dans les limites du raisonnable, tandis que l'EMS n'est pas obligée d'attendre les résultats de l'EEF. C'est après la synthèse des résultats de l'EEF, s'embouchant dans la formulation d'un modèle décrivant les niveaux d'ingestion d'énergie en rapport avec la quantité, la qualité et la structure de la ration, que l'on pourra décider quelles combinaisons fourrage brut-supplément sont représentées, par quelles catégories d'aliments.

Ketelaars et al. (1994) distinguent 10 catégories d'aliments, caractérisées par le niveau d'ingestion d'énergie (= niveau d'alimentation ; NA), c.-à-d. l'ingestion volontaire de matière organique digestible (MOD) à partir de l'aliment, exprimé comme multiple de la MOD du niveau d'entretien. Cette indice est < 1 pour des rations médiocres, et dépasse 1 pour des meilleurs aliments, jusqu'à 2,5 pour des jeunes animaux en pleine croissance. La figure 4 illustre l'influence de ce niveau d'alimentation sur la vitesse de croissance des femelles bovines. L'indice peut être dérivé des essais d'ingestion alimentaire de l'EEF et de la littérature. Elle est calculée si nécessaire avec l'aide des corrélations entre le niveau alimentaire et la qualité fourragère. Plusieurs rations ont été composées sur la base des 10 aliments (voir par exemple le tableau 6). Elles varient selon les techniques et les objectifs de production, ainsi qu'au cours de l'année. L'approche a été élaborée déjà pour la production de viande bovine, à partir d'un troupeau complet et sous forme d'embouche. D'autres systèmes de production sont en élaboration, comme ceux sur la base des petits ruminants.

Figure 4. La vitesse de croissance des femelles bovines par rapport au niveau d'alimentation (NA), avec une précision de deux cas enregistrés : le troupeau de la SRZ de Niono et les troupeaux transhumants de Diafarabé (Mali).

L'évolution parallèle actuelle de la recherche de l'EEF et de l'EMS, fait que certains résultats ont déjà été obtenus au niveau de l'EEF dans des domaines qui n'ont pas encore été approfondis par l'EMS. Un exemple est celle des rations les plus rentables de la paille de mil et du tourteau de coton. Les prix des deux composants ont été estimés à 10 et 40 F CFA kg⁻¹. Pour l'entretien d'un bovin de 200 kg de poids vif la combinaison de 3,9 kg de paille et 0,1 kg de tourteau est à conseiller (MS par tête et par jour). Pour un niveau d'alimentation de 1,4 il faut 4,4 kg de paille et 1,0 de tourteau ([Kaasschieter et al. , 1994](#)).

Tableau 6. Quelques exemples des catégories d'aliments, définies par la qualité fourragère et le niveau d'alimentation inhérent.

	niveau d'alimentation	qualité fourragère	
	(%)	Dig. MO (%)	N (%)
Saison des pluies	1,50	60	< 16
	1,75	65	16 - 22
	2,00	70	> 22
Saison sèche	0,25	35	< 4
	0,50	40	4 - 6
	0,75	45	6 - 8

	1,00	50	8 - 10
	1,25	55	10 - 13
	1,50	60	> 13
	2,00	70	60

4.5. Etude de cas

L'étude de cas vient d'être démarrée par la préparation du rapport traitant de la description des ressources, de l'environnement socio-économique et de la typologie des fermes du cercle de Koutiala (Sissoko et al., en publ. (c)). Le cercle se trouve à la limite sud de la région étudiée. La densité de population y dépasse 30 hab. km^{-2} , en d'autres mots, elle est le double de celle de la région. La population rurale représente près de 80% de la population totale. Les sols ont presque tous une texture limoneuse. Les cultures céréalières occupent entre 40 et 50% de la superficie agricole utilisée, les légumineuses et le coton occupent ensemble 25%, avec une légère dominance pour le coton, les cultures diverses 4% et les jachères le reste. La densité du bétail est élevée : près de 25 UBT km^{-2} ! Les bovins composent 86% de l'effectif. L'accroissement annuel des ressources ligneuses se lève à $2 \text{ m}^3 \text{ hab.}^{-1} \text{ an}^{-1}$; la consommation se situe à $1,5 \text{ m}^3$ pour la population urbaine et plus que 1 m^3 pour la population rurale.

Quatre types d'exploitation ont pu être distingués par le DRSPR :

- A. Exploitation bien équipée pour la culture attelée, ayant au moins une charrette et possédant en troupeau de plus de 10 bovins, y compris deux paires de boeufs d'attelage.
- B. Exploitation disposant d'au moins une paire de boeufs de labour et d'une unité de culture attelée, mais ayant un troupeau de bovins de moins de 10 têtes, y compris les boeufs d'attelage.
- C. Exploitation non équipée pour la culture attelée. Disposant souvent d'un équipement incomplet.
- D. Exploitation en culture manuelle, ne connaissant pas ou très peu la culture attelée.

4.6. Conditions économiques régionales

Les deux rapports traités, décrivant la région malienne étudiée au Mali et le cercle de l'étude de cas présentent globalement les conditions socio-économiques locales. En plus, un effort a été fait pour analyser les conditions économiques du Sahel en général, en ce qui concerne le potentiel d'intensification de l'élevage et l'influence de l'économie mondiale et de la politique commerciale de la CE sur ce potentiel.

Wooning (1992) a étudié les prix du bétail, de la viande, des produits laitiers et des engrais. Sa conclusion sur la rentabilité actuelle de l'application des engrais pour la production animale indique une dégradation du potentiel pour les derniers dix ans. Deux raisons principales ont été identifiées : la subvention européenne de l'exportation de viande, qui fait stagner le prix du bétail au Sahel depuis dix ans, et l'augmentation des prix des engrais, dû en particulier à la suppression des subventions au Sahel, dans le cadre des programmes d'ajustement structurel de la Banque Mondiale.

Le ratio valeur/coût (RVC) pour la production de viande sur la base des cultures fourragères de graminées fertilisées est 1,1. Dans les conditions favorables (peu d'alternatives, tolérance de risque élevé des paysans), un RVC de 2 est généralement accepté comme valeur critique. La valeur de la production supplémentaire doit être au moins 2 fois plus élevée que le coût de l'engrais avant que les paysans ne soient disposés à l'appliquer. Si les conditions sont moins favorables, le RVC doit être supérieur à 4 avant que les paysans n'appliquent l'engrais, notamment pour compenser les risques.

Les engrais phosphatés sont à peine importés dans les pays concernés, car on y stimule l'utilisation des phosphates naturels. Mais la disponibilité de tels phosphates est restreinte, les données sur leur prix sont peu claires et l'accessibilité du P à court terme est limitée (voir 2.1). C'est ce qui a conduit à déterminer le RVC pour les engrais phosphatés importés, pour la production de viande sur la base des cultures de légumineuses. Le RVC obtenu est de 2 dans ce cas.

Il est clair que les prix actuels excluent l'utilisation d'engrais pour l'intensification de la production de viande. Un RVC de 9 a été trouvé pour la production laitière, sur la base de N aussi bien que sur P. Cette valeur est moins intéressante qu'elle n'apparaît, à cause de la demande et du pouvoir d'achat restreint de la population rurale. Pour la production périurbaine le prix au producteur malien est 100 F CFA de plus qu'à la campagne. Mais les terrains de parcours aux alentours des villes ne sont pas du tout suffisants pour assurer l'alimentation de base. En supposant que l'alimentation entière soit basée sur les cultures fourragères fertilisées, le RVC est un peu plus de 3 seulement. Donc, là où il y existe un marché d'une certaine importance, il sera difficile de rentabiliser les engrais, même pour la production laitière.

Un élément très négatif pour l'intensification de l'élevage sahélien apparaît la politique de subvention de l'Union Européenne (UE). Attema (1993) a analysé l'influence des restitutions d'exportation de viande de la UE sur le prix de bétail au Mali. Il conclut que la diminution récente de ces restitutions de 15%, sous l'influence de la pression des ONGs, n'a aucune influence sur les revenus d'un éleveur au Mali. La compétition de la viande européenne sur le marché ivoirien reste beaucoup trop élevée. Il faudrait une diminution de 75% pour une amélioration notable de la force de concurrence des éleveurs dans des pays comme le Mali. La situation est meilleure au Sénégal, où on a pu s'opposer efficacement au dumping de la UE. Au Mali et ailleurs il y a actuellement peu de chance d'introduire des techniques de production plus intensives et plus durables. Les éleveurs sont obligés d'épuiser les ressources naturelles gratuites pour survivre.

5. Bibliographie

(Les publications marquées par un astérisque sont celles du projet PSS. On peut les obtenir au niveau de l'Equipe d'Appui PSS, AB-DLO, BP 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas.)

Ajileye, et al. (sous presse). Proceedings of the international workshop Stylosanthes as a forage and fallow crop. 26th-30th oct. 1992, Kaduna. ILCA, Addis Ababa.

*Anon., 1993. Réunion sur la coopération EMS-DLV : points principaux. Compte rendu, AB-DLO, Wageningen.**

*Attema, J., 1993. De invloed van de Europese exportrestituties op vlees, op de prijs van vee in Mali. Afstudeerverslag Vakgroep Ontwikkelingseconomie, LUW, Wageningen.**

*Ballo, A., 1993. Effets de la supplémentation avec tourteau de coton des rations de base de paille de riz sur l'ingestion et la digestibilité de la matière organique du menu. Mémoire de DEA. ISFRA, Bamako.**

*Bonachela, S., 1993. A model of perennial grasses under water limited conditions (PGWL-FSE). Description and user guide. [Rapports PSS no. 2](#). IER, Bamako/DAN-UAW, Wageningen/AB-DLO, Wageningen.**

Boudet, G., 1978. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Manuels et précis d'élevage 4, IEMVT, Maisons-Alfort. 258 pp.

Breman, H., 1992. Agro-ecological zones in the Sahel: potentials and constraints. In: A. Blokland & F. van der Staaij (eds), Sustainable development in semi-arid sub-saharan Africa. Poverty and Development; analysis & policy 4, Ministry of Foreign Affairs (DLV/OS), The Hague. p. 19-36.

*Breman, H., 1993. Fertilizers, a feasible option for sahelian countries? Lecture CABO-DLO, Wageningen.**

*Breman H., 1994. Modélisation et simulation lors de l'élaboration des systèmes de production animale durable. Dans : Powell, M. Proc. of the International Conference on Livestock and Sustainable Nutrient Cycles in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa. Nov. 1991, Addis Ababa. ILCA, Addis Ababa.**

Breman, H. & J.-J. Kessler, 1995. [The role of woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions. With an emphasis on the Sahelian countries.](#) Advances Series in Agricultural Sciences, vol. 23, Springer-Verlag, Berlin. (334 pp; sous presse)

- Breman, H. & N. de Ridder (eds), 1991. [Manuel sur les pâturages des pays sahéliens](#). ACCT - CTA - Karthala, Paris. 485 pp.
- Breman, H. & N. Traoré (eds), 1987. *Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes*. Mali. SAHEL D(87)302 Club du Sahel/CILSS/OCDE, Paris. 243 pp.
- Breman, H., A.M. Cissé, M.A. Djitèye & W.Th. Elberse, 1980. *Pasture dynamics and forage availability in the Sahel*. *Isr. J. Bot.* 28, 227-251.
- Cissé, A.M., 1986. *Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne*. Thèse Vakgroep Theoretische Teeltkunde, LUW, Wageningen. 211 pp.
- Coulibaly, Y., G. Kaasschieter & D. Coulibaly, en publ. *Essais d'amélioration des parcours soudano-sahéliens par l'introduction de la légumineuse Stylosanthes hamata cv Verano. Expériences 1991-1992. Rapports PSS préliminaires*. IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*
- Diallo, A., 1978. *Transhumance : comportement, nutrition et productivité d'un troupeau Zébu de Diafarabé*. Thèse CPS, Bamako. 75 pp.
- Diarra, L. & P. Hiernaux (sous presse). Dans : M. Powell. *Proc. of the International Conference on Livestock and Sustainable Nutrient Cycles in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa*. Nov. 1991, Addis Ababa. ILCA, Addis Ababa.
- Duivenbooden, N. van, 1992. *Sustainability in terms of nutrient elements with special reference to West Africa*. CABO Report 160, CABO, Wageningen.
- Duivenbooden, N. van & P.A. Gosseye (eds), 1990. *Compétition pour des ressources limitées : Le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 2: Productions végétales, animales et halieutiques*. CABO, Wageningen & ESPR, Mopti. 266 p. + annexes.
- Graaf, S. van der & H. Breman, 1993. *Agricultural production : ecological limits and possibilities. Contribution to the Sahel ecology, economy and demography study*. [Rapports PSS no. 3](#). Prepared for the Club du Sahel. IER, Bamako/DAN-UAW, Wageningen/ AB-DLO, Wageningen. 39 p.*
- Groot, J.J.R. & A. Soumaré, sous presse. *Root distribution of Acacia seyal and Sclerocarya birrea in sahelian rangelands*. (Accepté par *Agroforestry Today*).*
- Groot, J.J.R. & A. Soumaré, en publ. *Root distribution of Acacia seyal and Sclerocarya birrea in sahelian rangelands in relation to nutrient use*. Dans : *Proc. of the ICRISAT Seminar « Parklands in the Semi-Arid Land of West Africa »*, Ouagadougou, 1993. ICRAF, Nairobi.*
- Haag, J., 1994. *Simulation of the effect of phosphorus deficiency on growth and N₂ fixation of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp)*. MSc thesis, TPE, LUW, Wageningen. 133 pp.*
- Kaasschieter, G.A., Y. Coulibaly & M. Kané, 1994. *Supplémentation de la paille de mil (Pennisetum thyphoïdes) avec le tourteau de coton : effets sur l'ingestion, la digestibilité et la sélection*. [Rapports PSS no. 4](#). IER, Bamako, DAN-UAW et AB- DLO, Wageningen. 26 pp.*
- Kessler, J.J. & H. Breman, 1991. *The potential of agroforestry to increase primary production in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa*. *Agroforestry Systems* 13, 41-62.
- Ketelaars, J.J.M.H., 1991. Dans : [Breman & de Ridder, 1991](#). *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. ACCT - CTA - Karthala, Paris.
- Ketelaars, J.J.M.H. & B.J. Tolcamp, 1991. *Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants*. Thesis UAW,

Wageningen, 253 pp.

Ketelaars, J.J.M.H., K. Sissoko & E.J. Bakker, 1994. *Méthodologie de définition des activités d'élevage pour une production intensive de viande et de lait des ruminants en zone soudano-sahélienne. Rapports PSS préliminaires.* IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

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

Knevel, M.K., 1993. *Solitary trees: light interception and shade patterns.* Student report Dep. of Theor. Prod. Ecology, UAW, Wageningen. 92 pp.*

Koné, D. & J.J.R. Groot, en prép. *Utilisation du phosphore et de l'azote par le Stylosanthes hamata et le Vigna unguiculata en zone soudano-sahélienne du Mali.* [Rapports PSS préliminaires.](#) IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

Koné, D., M. Traoré & Groot J.J.R. (en prép.). *Description du système racinaire de l'Andropogon gayanus, du Vigna unguiculata et du Stylosanthes hamata en zone soudano-sahélienne.* [Rapports PSS préliminaires.](#) IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

Kruseman, G. 1994. *DLV-PSS joint research. Research note GK94-01.* AB-DLO/OE-LUW, Wageningen.*

Leeuw, P. de & M.M.A. Saleem, sous presse. *Proceedings of the international workshop Stylosanthes as a forage and fallow crop. 26th-30th oct. 1992, Kaduna.* ILCA, Addis Ababa.

Leloup, S. & M. Traoré, 1989. *La situation fourragère dans le Sud-Est du Mali. Une étude agro-écologique.* Institut de l'Economie Rurale, Sikasso & KIT, Amsterdam. 94 p.

Meijboom, F.W., J. Hassink, M. van Noordwijk (sous presse). *Density fractionation of soil macroorganic matter using silica suspensions.* *Soil Biology and Biochemistry*, issue 1994/1995 (accepted)

Nierop, H.C. van, 1993. *L'effet d'une supplémentation de tourteau de coton sur le comportement fourrager des taurillons au Sahel-sud.* PSS-Niono/Mémoire du deuxième cycle, DAN-UAW, Wageningen. 38 pp.*

Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitèye (eds.), 1991. [La productivité des pâturages sahéliens.](#) Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Res. Rep. 918. Pudoc, Wageningen. 525 pp. (réimpression de la version 1982)

Pieri, C., 1989. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara.* Ministère de la Coopération et du Développement & CIRAD-IRAT, Montpellier. 444 p.

Ridder, N. de & H. van Keulen, 1990. *Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid-tropics (SAT).* *Fertilizer Research* 26, 299-310.

Radersma, S., 1994. *The influence of parkland trees on the soil and the herbaceous layer in the southern Sahel; with special attention to phosphorus.* MSc thesis. Dep. Tropical Crop Science, Agricultural University, Wageningen, 108 pp.*

Rivière, R., 1978. *Manual d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical.* *Manuels et précis d'élevage* 9. IEMVT, Maisons-Alfort. 527 pp.

éé, K., E.J. Bakker, W. Quak, M.S.M. Touré, en publ. (a). *Description des ressources en zone soudano-sahélienne du Mali.* [Rapports PSS préliminaires.](#) IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

Sissoko, K., E.J. Bakker, N'F. Dembélé, W. Quak, M.S.M. Touré, en publ. (b). *Définition, description et analyse économique partielle des activités d'élevage en zone soudano-sahélienne : cas de la production de viande bovine.*

[Rapports PSS préliminaires](#). IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

Sissoko, K., E.J. Bakker, W. Quak, M.S.M. Touré, en publ. (c). *Application de la modélisation aux niveau « petite région et ferme » : étude de cas du cercle de Koutiala. Description des ressources et de l'environnement socio-économique. Typologie des fermes. Rapports PSS préliminaires*. IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

Smidt, S. de, 1991. *Linking a phosphorus uptake module with a crop growth simulation model for cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.)*. scriptie. Agricultural University Wageningen. Dept. of Theoretical Production Ecology. 38 pp. + annexes*

Soumaré, A., 1993. *Structure spatiale du système racinaire de deux arbres du Sahel : Acacia seyal et Sclerocarya birrea*. Mémoire DEA, Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA), Bamako. 81 pp.*

Soumaré, A., J.J.R. Groot, D. Koné & S. Radersma, 1994. *Structure spatiale du système racinaire de deux arbres du Sahel : Acacia seyal et Sclerocarya birrea*. [Rapports PSS no. 5](#). IER, Bamako/AB-DLO, Wageningen & Haren/DAN-UAW, Wageningen.*

Struif Bontkes, Tj., 1994. *Structure d'un modèle de simulation du développement agricole à Koutiala*. Note interne. Vakgroep Algemene en Regionale Landbouwkunde, Landbouw Universiteit Wageningen, Wageningen.*

Touré, M.S.M., 1994. *Analyse économique partielle des activités de mil dans la zone de Koutiala*. Rapport interne PSS.*

Toutain, B. et al. (sous presse). *Revue des recherches et de l'utilisation des Stylosanthes en Afrique de l'Ouest*. Proceedings of the international workshop Stylosanthes as a forage and fallow crop. 26th-30th oct. 1992, Kaduna. ILCA, Addis Ababa.

Traoré, M., 1993. *Recherche sur le système racinaire de quelques espèces fourragères en zone soudano-sahélienne*. Mémoire du D.E.A., ISFRA, Bamako.*

Ukkerman, H.R., 1991. *Development of a simulation model for the management and exploitation of perennial grasses in the Sahel-Sudan zone*. Report 148. CABO-DLO, Wageningen. 44 pp. + annex.*

Veeneklaas, F.R., S. Cissé, P.A. Gosseye, N. van Duivenbooden & H. van Keulen, 1990. [Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 4. Scenarios de développement](#). CABO, Wageningen & ESPR, Mopti. 182 p. + annexes.

Willigen, P de & G. Dijksterhuis, 1994. *Modelling efforts by the IB-DLO group*. Rapport de recherche AB-DLO, Haren.*

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

Wooning, A. 1992. *Les prix du bétail, de la viande, des produits laitiers et des engrais dans les pays sahéliens*. [Rapports PSS no. 1](#). IER, Bamako/ CABO-DLO, Wageningen/DAN-UAW, Wageningen/IB-DLO, Haren.*

Zemmelink, G., 1980. *Effect of selective consumption on voluntary intake and digestibility of tropical forages*. Agricultural Research Report 896. Pudoc, Wageningen 100. pp.

Notes

[\[1\]](#) Une telle agriculture ne cherche qu'à satisfaire les besoins alimentaires de la propre population, elle n'utilise pas des intrants externes mais exploite au maximum la connaissance de l'environnement et des propriétés spécifiques des cultures et du bétail.

[2] "L'approche systémique" est utilisée dans ce texte pour indiquer la description et l'analyse des activités de production par des modèles mathématiques et des simulations par ordinateur.

[3] Tous les résultats présentés dans ce rapport concernent des analyses qui datent d'avant la dévaluation du F CFA. Il est impossible d'en analyser les conséquences pour les conclusions préliminaires à l'heure actuelle.

Annexe