

Rapports PSS N° 7

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

Projet de coopération scientifique

Rentabilité de l'utilisation de fane de niébé (*Vigna unguiculata*) comme supplément avec la paille de mil (*Pennisetum typhoides*) par des taurillons

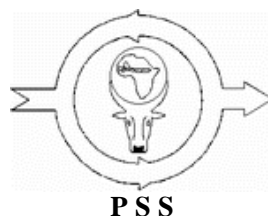
G.A. Kaasschieter¹⁾ & Y. Coulibaly²⁾

Adresse:

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

²⁾ Institut d'Economie Rurale (IER), B.P. 258, Bamako, Mali

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



Rapports PSS N° 7
Wageningen, 1995

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 7

Table des matières

- [Résumé](#)
 - [1. Introduction](#)
 - [2. Matériels et méthodes](#)
 - [2.1. Animaux et rations](#)
 - [2.2. L'ingestion de la paille de mil](#)
 - [2.3. La digestibilité de la matière organique](#)
 - [2.4. L'estimation de la matière organique ingérée digestible](#)
 - [2.5. Gain moyen quotidien](#)
 - [2.6. Courbes d'isoproduction](#)
 - [2.7. Analyse économique](#)
 - [2.8. Analyse statistique](#)
 - [3. Résultats](#)
 - [3.1. Composition de la paille](#)
 - [3.2. Ingestion de la matière organique \(digestible\) et gain moyen quotidien](#)
 - [3.3. Estimation de l'ingestion de la matière organique \(digestible\)](#)
 - [3.4. Courbes d'isoproduction](#)
 - [3.5. Rentabilité de l'utilisation de fane de niébé](#)
 - [4. Discussion et conclusions](#)
 - [Références](#)
 - [Annexe 1](#)
 - [Annexe 2](#)
 - [Annexe 3](#)

« 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

*Un essai de l'ingestion et de la digestibilité a été exécuté avec 4 lots (SUP0, SUP1, SUP2 et SUP3) de 6 taurillons de la race Zébu Maure. Pendant une période de 83 jours chaque lot a été soumis à un certain niveau de supplémentation de fane de niébé (*Vigna unguiculata*). Chaque animal a reçu 3 niveaux différents d'offre de la paille de mil (*Pennisetum typhoides*), variant d'environ 120 % jusqu'à 240 % de l'ingestion volontaire prévue de la paille.*

L'ingestion (en matière organique, MO) de la fane de niébé s'élève à 0, 21, 42 et 65 % de l'ingestion totale, respectivement, pour les 4 lots. La digestibilité moyenne de la matière organique varie de 47,6 (SUP0) à 59,0 % (SUP3). L'ingestion de la MO de la paille de mil et sa digestibilité dépendent de la quantité distribuée : l'ingestion de feuilles augmente linéairement avec l'offre de la paille.

L'ingestion moyenne de la matière organique digestible (MOD) est bien inférieure aux besoins d'entretien pour les lots SUP0 et SUP1 (20,6 et 26,9 g kg^{-0,75} j⁻¹, respectivement). Les 2 niveaux plus élevés de la fane de niébé montrent une ingestion de la MOD au-dessus de l'entretien.

Grâce à l'effet de l'offre de la paille et de la supplémentation avec la fane de niébé sur l'ingestion et la digestibilité, l'ingestion de la MOD peut être estimée pour chaque combinaison quelconque de supplément - paille de mil. Il est ainsi possible d'optimiser l'utilisation de la fane de niébé, dans laquelle, dépendant du niveau de prix, la combinaison la plus rentable peut être calculée pour des niveaux différents de la production animale.

Une analyse économique montre qu'avec les prix actuels des intrants et extrants l'utilisation de fane de niébé comme supplément avec la paille de mil par des taurillons est à peine rentable. Néanmoins, il est à souligner que la situation fourragère pendant la saison sèche sans supplémentation est telle que l'élevage ne sera pas du tout rentable. La perspective d'une utilisation rentable de fane de niébé se trouve surtout dans le système mixte d'élevage-agriculture plus ou moins « fermé ». Si le paysan produit le niébé sur sa propre ferme (sur le champs en jachères ou en rotation avec des céréales) il arrivera à une rémunération de la main d'oeuvre investie de Fcfa 2180 par jour par animal. Avec le prix du marché du niébé, actuellement variant de 35 à 75 Fcfa par kg, et sans augmentation de prix de la viande, la rentabilité aggraverait très vite.

1. Introduction

Dans la zone soudano-sahélienne la pression démographique et les besoins croissants à satisfaire en produits alimentaire agricoles occasionnent une exploitation de plus en plus intensive des ressources naturelles (terres, pâturages). Cette situation qui dépasse la capacité de charge de la zone est déjà une réalité dans une grande partie de la région. D'un point de vue production, cette surexploitation de terres n'est pas favorable. Le sol est caractérisé par une pauvreté en éléments nutritifs, notamment le déficit en azote et en phosphore (Penning de Vries & Djitéye, 1982), avec une faible teneur en matière organique, ce qui montre la nécessité d'utiliser les engrais pour assurer une production agricole satisfaisante et durable. Malgré la pauvreté du sol les pâturages naturels sont caractérisés par un faible taux de digestibilité et d'azote pendant la saison sèche (8 à 9 mois), ce qui résulte une productivité animale très basse (Breman & De Ridder, 1991).

Une des options techniques pour diminuer la pression des pâturages naturels est la diminution des effectifs d'animaux par unité de superficie. En même temps il y a la nécessité d'augmenter la productivité animale, laquelle pourrait être réalisée surtout par l'amélioration du régime alimentaire pendant la saison sèche (par exemple l'utilisation des suppléments azotés). Il est évident que ceci exige un certain niveau d'intensification du système de production. Dans ce processus d'intensification les options possibles sont, entre autres, des investissements dans la mise en stabulation des animaux, l'utilisation des fourrages (légumineuses), cultivés ou achetés, et/ou l'utilisation de concentrés et un soin vétérinaire amélioré. Aussi la production et l'utilisation du fumier et de la litière (dans un parc à bétail) deviendront de plus en plus important pour le maintien de la fertilité du sol.

Sur le plan économique une utilisation optimale de ces intrants externes avec des ressources internes disponibles, comme les résidus de récolte, est primordiale.

La recherche de l'Equipe Exploitation Fourragère (EEF) du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) est orientée vers l'utilisation la plus efficace des suppléments fourragers (comme intrant azoté) par des ruminants pour plusieurs systèmes d'élevage (stabulation-parcours naturels) en tenant compte du comportement fourrager de l'animal (sélection). Pour atteindre cet objectif des essais fourragers sur l'ingestion et la digestion sont formulés avec deux types de fourrage grossier, c'est-à-dire la paille de mil et de riz respectivement, et avec différents types de supplément, comme le tourteau de coton, la fane de niébé et le bourgou.

L'approche choisie est celle de la « dose - réponse », laquelle donnera des informations sur :

a. l'effet de chaque niveau de supplément sur l'ingestion de la ration de base et la digestibilité de la ration totale ;

- b. l'effet de chaque niveau de supplément sur la production animale ;
- c. l'élaboration des stratégies fourragères sur la base d'une analyse économique.

Dans ce rapport de recherche l'EEF présente les résultats d'un essai de l'ingestion fourragère et de digestibilité de la paille de mil (*Pennisetum typhoides*) supplémentée avec 4 « doses » de fane de niébé (*Vigna unguiculata*) par des jeunes taurillons[1].

L'objectif de cet essai est de déterminer la rentabilité de cette ration fourragère en fonction des différents niveaux de production animale. D'abord des paramètres zootechniques seront traités, comme l'ingestion de la ration, le niveau de sélection de différentes composantes de la paille et l'interaction entre la paille de mil et la fane de niébé. Finalement une analyse économique montrera la rentabilité de l'utilisation de la fane de niébé comme supplément azoté dans une ration de faible qualité.

2. Matériels et méthodes

2.1. Animaux et rations

Quatre lots de 6 taurillons (Zébu Maure) en croissance (poids vif : 180 à 240 kg) sont soumis aux 4 niveaux de supplémentation (SUP0 - SUP3) de fane de niébé, correspondant à 0 % (témoin), 20 %, 40 % et 60 %, respectivement, de l'ingestion volontaire totale attendue.

Cette ingestion attendue de la matière organique (MOI) est calculée sur la base de la teneur en azote et de la digestibilité de la matière organique (Ketelaars & Tolkamp, 1991) de la paille de mil et de la fane de niébé. Pour un calcul détaillé de l'ingestion fourragère se réfère à [Kaasschieter et al. \(1994\)](#).

La paille de mil est caractérisée par une grande hétérogénéité en qualité ; par conséquent la sélection de différentes parties de la plante (tiges, gaines, feuilles, épis) par le ruminant est un paramètre très important sur l'ingestion volontaire maximale. La sélection par le ruminant de ce type de fourrage sera plus importante quand la quantité offerte (QO) est élevée, et influencera positivement l'ingestion et la digestibilité du fourrage (Zemmelink, 1980 ; Wahed *et al.*, 1990 ; [Kaasschieter et al., 1994](#) ; Owen *et al.*, 1989 ; Kenney & Black, 1984). Pour mieux quantifier cet effet chaque lot est subdivisé en trois sous groupes de 2 animaux qui reçoivent environ 120 % (QO1), 180 % (QO2) et 240 % (QO3), respectivement, de l'ingestion volontaire prévue de paille de mil (voir Tableau 1).

Tableau 1. Dispositif expérimental d'un lot.

	sous groupes : animaux :	I n=2	II n=2	III n=2
pm1	adaptation : 28 jours mesure : 15 jours	QO1	QO2	QO3
pm2	adaptation : 5 jours mesure : 15 jours	QO2	QO3	QO1
pm3	adaptation : 5 jours mesure : 15 jours	QO3	QO1	QO2

pm = période de mesure ; QO = quantité offerte paille de mil.

La paille de mil et la fane de niébé ont été récoltées durant la campagne 1993 et proviennent du même terroir villageois (aux environs de la ville de Niono).

La mesure de l'ingestion (15 jours) et la collecte de fèces (les 7 derniers jours de ces 15 jours) ont lieu en 3 différentes périodes de mesure pendant lesquelles la quantité offerte (QO) de la paille de mil change entre les sous groupes.

La fane de niébé est distribuée quotidiennement à 8 h, tandis que la paille de mil (hachée à 20 cm) est distribuée en deux fois à 8 h et 18 h. Le refus de la paille et le fèces de chaque animal sont pesés quotidiennement (7 h 30). Un échantillon de la quantité offerte de la paille, du supplément, du refus et du fèces (par animal) est pris quotidiennement et gardé. Chaque jour 2 échantillons de la quantité offerte de la paille de mil et un échantillon représentatif de refus de chaque animal sont pris pour la détermination du rapport tige/feuille de la quantité offerte et de l'ingestion de feuille par l'animal.

Chaque semaine un sous-échantillon de chacun de ces différents échantillons est pris, séché à l'étuve (24 h, 60 deg.C) et broyé (1 mm) pour l'analyse de la matière sèche, des cendres et de l'azote.

Pour la couverture des besoins en minéraux une pierre à lécher est mise à la disposition de chaque animal.

Les animaux sont pesés au début et à la fin de chaque période de mesure. Ils sont soumis au programme de vaccination et de déparasitage.

2.2. L'ingestion de la paille de mil

Pour la description de l'ingestion de la paille de mil en fonction de la quantité offerte le modèle non linéaire suivant a été utilisé pour chaque niveau de supplémentation : (adapté de Zemmeling, 1980)

$$MOI_e = MOI_m * [(1 - e^{-p * QO/MOI_m})^h]^{1/h} \text{ (Equation 1)}$$

avec :

$$\begin{aligned} 0 < p &\leq 1 \\ m &> 0 \\ h &> 0 \end{aligned}$$

où

MOI_e = matière organique ingérée ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$)

MOI_m = matière organique maximale ingérée ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$)

QO = quantité offerte de matière organique du fourrage ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$)

p = fraction de fourrage acceptable, quelque soit la quantité offerte

h = paramètre de la courbe, tel que $MOI = MOI_m * (1 - e^{-1})^{1/h}$

quand $QO = MOI_m/p$; le degré de homogénéité du fourrage consommable.

Le modèle estime trois paramètres : l'ingestion maximale de la matière organique (MOI_m), la fraction acceptable (p) et un paramètre de courbe (h).

Des valeurs faibles de h se traduisent par une dépression de MOI quand $QO = MOI_m/p$ (Fig. 1) ; elles indiquent que le fourrage est hétérogène et que l'animal peut faire une distinction entre les différentes composantes de ce fourrage (Zemmeling, 1980). Il est une mesure pour l'homogénéité du fourrage consommable.

Le paramètre p est considéré comme une caractéristique du fourrage. Il sera déterminé pour le lot SUP0 (témoin) ; pour les lots supplémentés on prendra l'estimation de p du lot témoin.

Quand la quantité offerte est bien inférieure à l'ingestion maximale, la variation de l'ingestion observée entre les animaux à l'intérieur des lots sera négligeable (l'animal consomme tout). Dans le cas où la quantité offerte devient plus élevée que la MOI_m cette variation entre animaux pourrait devenir plus importante (Zemmeling, 1980). C'est la raison pour laquelle l'ingestion observée de chaque animal (MOI) est ajustée dans l'analyse statistique avec un facteur de poids, $1/[MOI_e]^2$, dont MOI_e correspond à l'estimation de MOI selon l'Equation 1.

Figure 1. Relation entre la matière organique ingérée et offerte ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$; adapté de Zemmeling, 1980).

La sélection des meilleurs composantes de la paille par l'animal sera plus évidente si l'offre de paille est élevée. Reed *et al.* (1988) observaient une digestibilité moyenne plus élevée de « neutral detergent fibre » (NDF) de la feuille que pour la tige de 12 variétés de mil. Pour déterminer la sélection fourragère l'ingestion des feuilles (y compris les épis) sera pris comme variable dépendant en utilisant le modèle de régression linéaire suivant :

$$MOI_f = a + b QO_p + e_r \text{ (Equation 2)}$$

où

MOI_f = ingestion MO feuille de mil ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$)

QO_p = quantité offerte paille de mil ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$)

e_r = erreur résiduelle

La fraction de feuille dans le menu ingéré par rapport à celle dans la quantité offerte servira aussi comme indicateur pour la sélection

par l'animal et sera analysée comme suite

$$fMOI_f = a + b QO_p + e_r \text{ (Equation 3)}$$

où

$$fMOI_f = \text{fraction } MOI_f \text{ dans la } MOI \text{ (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$QO_p = \text{quantité offerte paille de mil (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$e_r = \text{erreur résiduelle}$$

Les estimations de l'ingestion de la matière organique des 4 niveaux de supplémentation (MOI_e) avec les mêmes niveaux d'offre sont utilisées pour établir l'interaction entre la ration de base (QO_p) et le supplément (MOI_{fdn}) :

$$SUB = a + b MOI_{fdn} + c QO_p + d (MOI_{fdn} * QO_p) + e MOI_{fdn}^2 + e_r \text{ (Equation 4)}$$

où

$$SUB = \text{substitution } MOI_{paille} \text{ par g } MOI_{fdn}$$

$$MOI_{fdn} = \text{ingestion MO fane de niébé (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$QO_p = \text{quantité offerte paille de mil (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$MOI_{fdn} * QO_p = \text{terme d'interaction}$$

$$e_r = \text{erreur résiduelle}$$

Le paramètre SUB correspond à l'augmentation ou la diminution de la quantité ingérée estimée (MOI_e) de la paille *par gramme de fane de niébé ingéré* : il présente une mesure pour le phénomène de « substitution ». Ainsi, il est possible d'estimer l'ingestion de la matière organique pour chaque niveau de l'ingestion de fane de niébé et quantité offerte de la paille de mil, en utilisant l'estimation de la MOI du lot témoin selon le modèle adapté de Zemelink :

$$MOI_{ps} = MOI_e + SUB * MOI_{fdn} \text{ (Equation 5)}$$

où

$$MOI_{ps} = \text{ingestion estimée MO paille de mil (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$MOI_e = \text{ingestion estimée MO paille de mil (lot témoin) (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$SUB = \text{substitution } MOI_{paille} \text{ par g MO fane de niébé}$$

$$MOI_{fdn} = \text{ingestion MO fane de niébé (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

2.3. La digestibilité de la matière organique

La digestibilité de la ration par animal a été calculée comme suit :

$$DMO_i \% = (MOID_i / MOI_{totale, i}) * 100 \% \text{ (Equation 6)}$$

où

$$DMO_i = \text{digestibilité de la matière organique de l'animal } i \text{ (\%)}$$

$$MOID_i = \text{matière organique ingérée digestible de l'animal } i$$

$$(\text{= } MOI_{totale, i} - MO_{fèces, i}) \text{ (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$MOI_{totale, i} = \text{matière organique ingérée totale de l'animal } i \text{ (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

$$MO_{fèces, i} = \text{matière organique fèces de l'animal } i \text{ (g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}\text{)}$$

Pour permettre d'estimer la digestibilité indépendamment d'un certain niveau du supplément, la DMO est analysée en fonction de l'ingestion de fane de niébé et la quantité offerte de la paille de mil (QO) en utilisant le modèle de régression multiple suivant [2] :

$$DMO \% = a + b MOI + c QO + d (MOI * QO) + e \text{ (Equation 7)}$$

e fdn p fdn p r

où

DMO_e % = digestibilité de la matière organique (%)

MOI_{fdn} = ingestion MO fane de niébé ($g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$)

QO_p = quantité offerte paille de mil ($g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$)

$MOI_{fdn} * QO_p$ = terme d'interaction

e_r = erreur résiduelle

Avec ce modèle l'hypothèse selon laquelle la digestibilité de paille de mil est dépendante du niveau de sélection, est testée ; si la quantité offerte est élevée on suppose que l'animal sélectionne surtout les feuilles avec une digestibilité supérieure à celle des tiges.

2.4. L'estimation de la matière organique ingérée digestible

A l'aide des Equations 5 (MOI_{ps}) et 7 (DMO_e) on estime l'ingestion de la matière organique digestible (MOID) selon la relation :

$$MOID_e = (MOI_{ps} + MOI_{fdn}) * DMO_e * 0,01 \text{ (Equation 8)}$$

où

$MOID_e$ = matière organique ingérée digestible ($g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$)

MOI_{ps} = ingestion estimée MO paille de mil ($g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$)

MOI_{fdn} = ingestion MO fane de niébé ($g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$)

DMO_e % = digestibilité estimée de la matière organique (%)

Pour chaque combinaison quelconque de supplément et de quantité offerte de la paille on peut ainsi estimer l'ingestion de la matière organique digestible.

2.5. Gain moyen quotidien

La durée d'essai (83 jours, y compris la période d'adaptation) permet de calculer le gain moyen quotidien (GMQ) de chaque animal (à travers la régression linéaire des poids vifs sur les jours). Pour se prononcer sur la relation entre le GMQ et l'ingestion moyenne de la MOD l'équation suivante est utilisée :

$$GMQ = a + b\ MOID + e_r \text{ (Equation 9)}$$

où

GMQ = gain moyen quotidien ($g\ kg^{-0,75}$)

MOID = matière organique ingérée digestible ($g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$)

e_r = erreur résiduelle

Avec cette relation les besoins d'entretien, exprimés en g MOD par $kg^{0,75}$ par jour, peuvent être estimés, c'est-à-dire quand $GMQ = 0$ g.

2.6. Courbes d'isoproduction

Sur la base de l'analyse de l'ingestion de la MOD de la paille de mil en fonction de celle de la fane de niébé (Equations 1, 4, 5, 7, 8 et 9) il est possible de développer des *courbes d'isoproduction*. Ces courbes reflètent toutes les combinaisons possibles de quantités de paille de mil et niébé pour atteindre un certain niveau de production (exprimé comme fraction du niveau d'entretien de la matière organique digestible).

2.7. Analyse économique

Quant aux calculs de la rentabilité de l'utilisation de la fane de niébé, la production de viande (et du fumier) est choisie comme extrant, produit pendant une période de supplémentation de 90 jours.

Pour plusieurs niveaux de production animale les indicateurs économiques suivants sont utilisés :

- La valeur de production, exprimée en Fcfa par tête par période d'utilisation, correspond à la valorisation de poids vif final de l'animal et de production de fumier d'origine animale et végétale (litière : le refus de la paille). La contribution du fumier au sol constitue l'amélioration de la structure de la matière organique du sol et le maintien de la fertilité du sol (entre autres par l'apport de l'azote). Dans le dernier cas on suppose que tout l'azote apporté sera minéralisé (à long terme) dans le sol et donc absorbable par la culture (Quak, communication personnelle). Cependant, il faut tenir compte avec des pertes de stockage et de lessivage dans le sol de MO et N.
- Le coût total de production (Fcfa $t^{-1} p^{-1}$) correspond à la somme des coûts des différents postes, comme l'alimentation, les soins vétérinaires, les amortissements (parc à bétail, matériel), l'impôt et la main d'oeuvre.
- Le bénéfice net (Fcfa $t^{-1} p^{-1}$) est la différence entre la valeur de la production (VP) et le coût total de production .
- La productivité de la main d'oeuvre est la différence entre la valeur de production et le coût total de production sauf les frais de main d'oeuvre, divisé par le nombre d'homme-jours (FCFA $t^{-1} p^{-1}$). Il s'agit ici d'un jugement de la rémunération d'un homme-jour lequel est important dans les situations où la main d'oeuvre est limitative et où des alternatives d'utilisation de main d'oeuvre existent. Les besoins en main d'oeuvre constituent du temps sacrifié aux soins animal (fixe : 10 minutes par jour) et à l'alimentation (y compris la collecte quotidienne de fumier : fèces et refus fourrager). Relativement arbitraire on estime ce besoin par animal et par jour de 1 minute par kg paille et 1 min. 20 sec par kg fèces et refus.
- Le taux de rentabilité est le bénéfice net divisé par le coût total de production.

L'analyse économique est basée sur la situation dans laquelle la fane de niébé et la paille de mil sont produites à la même ferme (l'association agriculture - élevage). Deux options avec différents niveaux de prix sont analysées : 2 Fcfa et 8 Fcfa pour un kilogramme de la paille de mil et de la fane de niébé respectivement (Option I) et ensuite comme Option II 6 Fcfa (paille) et 35 Fcfa (fane de niébé). Ces prix de la fane de niébé correspondent respectivement à une estimation provisoire par l'Equipe Modélisation des Systèmes du PSS des coûts moyens de production sans (8 Fcfa) et avec (35 Fcfa) la rémunération de main d'oeuvre et sans l'utilisation d'engrais dans la culture (PSS, 1994). Le Tableau 2 présente les données de base utilisées.

Il faut souligner que des niveaux très élevés de production de viande ne pourront jamais être réalisés avec la paille de mil comme ration de base dans le menu. L'objectif de la supplémentation azotée est orientée, en premier lieu, sur comment arrêter les pertes de poids vifs des troupeaux pendant la saison sèche. Sept niveaux de production ont été constitués : un niveau de production sans supplémentation et une offre restreinte (120 % de l'ingestion attendue) de la paille ; les autres 6 sont exprimés comme fraction du niveau d'entretien de la matière organique digestible, varient de 0,9 à 1,4 fois l'entretien. Pour ces 6 niveaux de production les coûts d'alimentation sont minimisés en utilisant les courbes d'isoproduction (2.6).

Tableau 2. Données de base pour déterminer la rentabilité de l'utilisation de la fane de niébé avec la paille de mil dans l'alimentation des taurillons.

taurillon : PV* début :	175 kg	coûts:		
durée supplémentation :	90 jours	fumier* :	4 Fcfa kg^{-1}	
		N pur :	240 Fcfa	
perte de stockage :		poids vif(kg) :	600 Fcfa	
MO fumier :	20 %	main d'oeuvre :	750 Fcfa j^{-1}	
N fumier :	20 %	impôts** :	290 Fcfa $UBT^{-1} an^{-1}$	
		soins vétérinaires** :	600 Fcfa $UBT^{-1} an^{-1}$	
amortissements (Fcfa $UBT^{-1} an^{-1}$) :				
parque à bétail** :	300 Fcfa	ration :	option A	option B
matériels :	300 Fcfa	paille de mil :	2 Fcfa kg^{-1}	6 Fcfa kg^{-1}
		fane de niébé :	8 Fcfa kg^{-1}	35 Fcfa kg^{-1}

* PV = Poids Vif

** van Duivenbooden & Gosseye (1990) ; [Sissoko et al.](#) (1994)

2.8. Analyse statistique

Les données de base ont été analysées avec les logiciels statistiques GENSTAT (Payne *et al.*, 1987) et DBStat (Brouwer, 1992).

3. Résultats

3.1. Composition de la paille

Le rapport tige - feuille - épi de la paille de mil distribué aux taurillons et les teneurs en matière organique et en azote figurent au Tableau 3.

Tableau 3. Distribution (%) de tige, feuille et épi de la paille de mil dans la quantité offerte et composition chimique des composantes de la ration (en g kg⁻¹ MS).

	Paille de mil				Fane de niébé
	plante	tige	feuille*	épi	
(%)					
en MS :		70,3 (9,3)	28,2 (8,9)	1,5 (0,7)	
en MO :		71,6 (9,0)	26,8 (8,7)	1,6 (0,8)	
g kg ⁻¹ MS					
MO	895 (7)	940 (6)	876 (10)	951 (5)	867 (12)
N	7,5 (1,2)	4,8 (0,9)	6,4 (1,1)	14,5 (1,1)	24,9 (0,6)

entre parenthèses : écart-type

* y compris gaines

Les tiges constituent la majeure partie de l'offre de la paille (70,3 %) avec une teneur moyenne en azote de 4,8 g kg⁻¹ MS. La part des feuilles dans le menu offert correspond très bien avec celle trouvée par Powell (1985) concernant les chaumes de mil aux champs au moment de la récolte (25 %). Le taux d'azote de la quantité offerte de la paille de mil est bas, c'est-à-dire 0,75 % ; néanmoins il est supérieur à celui de la paille utilisée en 1992 (0,75 % versus 0,61 % N). Les différences de teneur en azote entre les différentes composantes de la plante sont évidentes : les feuilles contiennent en moyenne 33 % d'azote plus que les tiges.

3.2. Ingestion de la matière organique (digestible) et gain moyen quotidien

La quantité moyenne offerte et l'ingestion moyenne de la paille de mil et de la fane de niébé, la digestibilité des rations et l'ingestion de la matière organique digestible sont données dans le Tableau 4.

L'ingestion moyenne de la paille de mil diminue avec l'augmentation de supplément dans la ration, en indiquant ainsi l'effet de substitution. Le pourcentage de fane de niébé dans l'ingestion totale s'élève à 21, 42 et 65 %, respectivement pour les lots SUP1, SUP2 et SUP3. La supplémentation de la paille a un effet hautement significatif sur la digestibilité de la ration et l'ingestion de la matière organique digestible (P<0,001).

Tableau 4. Quantité offerte (QO_p), ingestion moyenne (MOI_p) de la paille de mil et de fane de niébé (MOI_{fdn}) en g kg^{-0,75} j⁻¹, digestibilité de la matière organique de la ration (DMO, %), ingestion de la matière organique digestible (MOID, g kg^{-0,75} j⁻¹) et gain moyen quotidien (GMQ, kg t⁻¹ j⁻¹).

	MOI _{fdn}	QO _p	MOI _p	DMO	MOID	GMQ
	(g kg ^{-0,75} j ⁻¹)	(g kg ^{-0,75} j ⁻¹)	(g kg ^{-0,75} j ⁻¹)	(%)	(g kg ^{-0,75} j ⁻¹)	(g kg ^{-0,75} j ⁻¹)
SUP0	0	86,6 (24,3)	43,3 ^a (6,2)	47,6 ^a (2,3)	20,6 ^a (3,2)	-0,089 ^a (0,059)
SUP1	11,4 (0,1)	81,8 (23,0)	42,0 ^a (5,4)	50,2 ^b (2,5)	26,9 ^b (3,3)	-0,051 ^a (0,058)
SUP2	25,8 (0,3)	69,5 (19,5)	34,9 ^b (6,6)	55,0 ^c (2,5)	33,3 ^c (3,2)	0,108 ^b (0,086)
SUP3	42,8 (0,6)	51,0 (14,4)	22,6 ^c (5,2)	59,0 ^d (3,3)	38,4 ^d (2,6)	0,221 ^b (0,163)

entre parenthèses : écart-type

lettres différentes dénotent une différence significative (P<0,05)

Bien que la teneur en azote de la paille soit plus élevée par rapport à celle utilisée en 1992, la DMO moyenne et l'ingestion moyenne de la MOD de la paille de mil seule (lot SUP0) de cet essai demeurent plus basses (1992 : DMO = 52,1 (+/- 2,9) % ; MOID = 26,6 (+/- 3,8) g kg^{-0,75} j⁻¹, [Kaasschieter et al., 1994](#)). Des effets d'animaux, de la variété de mil et du mode de culture (fertilisation) pourraient expliquer cette différence (Reed et al., 1988 ; Prasad et al., 1993).

L'effet de la fane de niébé sur l'ingestion de la matière organique digestible est net : l'augmentation de la MOD par rapport au lot

témoin s'élève à 31, 62 et 86 % pour les rations ingérées, qui constituent 21, 42 et 65 % de fane de niébé respectivement.

L'ingestion faible de MOD des lots SUP0 et SUP1 se trouve bien inférieure aux besoins d'entretien, car la perte moyenne de poids vif s'élève à 89 et 51 g par tête par jour, respectivement.

La relation entre le gain moyen quotidien (GMQ), exprimé en $\text{g kg}^{-0,75}$, et l'ingestion moyenne de la MOD (en $\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$) s'écrit comme :

$$\text{GMQ} = -8,6 + 0,315 \text{ MOID} (r^2=0,52)$$

Sur la base de cette relation les besoins d'entretien de MOD pour un taurillon en croissance et en stabulation est égal à $27,4 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$, lequel est 5 % plus bas que, ce que ceux de 1992 (Kaasschieter et al., 1994) et 15 % en comparaison avec l'ARC (1980).

3.3. Estimation de l'ingestion de la matière organique (digestible)

Les paramètres du modèle non linéaire qui forment la relation entre la quantité offerte et l'ingestion, sont présentées au Tableau 5. Cette relation est aussi illustrée par la Fig. 2.

L'ingestion maximale de la paille de mil (MOI_m) est estimée à 48,0, 46,7, 39,1 et 30,3 $\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$, respectivement, pour les lots SUP0, SUP1, SUP2 et SUP3. Par rapport à l'essai de 1992 l'estimation de l'ingestion maximale de la MO de la paille de mil du lot témoin était bien supérieure c'est-à-dire 55,5 $\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$ ($es=1,8$) (Kaasschieter et al., 1994).

Tableau 5. L'estimation des paramètres MOI_m ($\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$) et h du modèle adapté de Zemelink (1980)¹⁾.

	Paille de mil		
	MOI_m	h	etr^2
SUP0	48,0 (4,1)	1,41 (0,41)	5,17
SUP1	46,7 (2,7)	1,47 (0,29)	4,09
SUP2	39,1 (4,4)	1,37 (0,45)	5,97
SUP3	30,3 (9,6)	0,86 (0,33)	4,43

¹⁾ le paramètre p du modèle est estimé à 1 ;

²⁾ etr = écart-type résiduelle ;
entre parenthèses : erreur standard.

Figure 2. Evolution de l'ingestion de la matière organique (MOI_e) ($\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$) en fonction de la quantité offerte (QO_p) de la paille de mil (MO , $\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$)

La variation dans l'ingestion de la paille entre les animaux est considérable (Fig. 2). Cette variance entre animaux à l'intérieur des lots explique pour une grande partie que les courbes n'ont pas encore atteint leur maximum (MOI_m) avec une quantité offerte de la paille de mil de $120 \text{ g MO kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$. Les valeurs faibles de h indiquent un certain degré de sélection fourragère par les animaux, lequel est aussi montré par la Fig. 2. Avec un niveau d'alimentation relativement restreint, c'est-à-dire quand $\text{QO}_p = \text{MOI}_m$, l'ingestion estimée du lot témoin n'est que 72 % de l'ingestion maximale (MOI_m). Pour le lot SUP3 elle n'enregistre que 56 %.

Sur la base de la détermination du rapport tige/feuille de l'offre et des refus de la paille on a pu quantifier l'ingestion de feuilles en par conséquent la sélection fourragère. L'ingestion moyenne et la fraction de feuille dans le menu ingéré sont présentées au Tableau 6.

Tableau 6. Quantité offerte moyenne (QO_p), ingestion moyenne de la paille de mil (MOI_p , $\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$) et de feuille (MOI_f , $\text{g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$) et fraction ingérée de feuille.

	QO_p	MOI_p	MOI_f	fraction feuille
SUP0	86,6 (24,3)	43,3 (6,2)	21,0 (5,0)	0,48 (0,09)
SUP1	81,8 (23,0)	42,0 (5,4)	19,4 (5,1)	0,46 (0,09)
SUP2	69,5 (19,5)	34,9 (6,6)	15,9 (4,0)	0,46 (0,11)
SUP3	51,0 (14,4)	22,6 (5,2)	10,6 (2,9)	0,48 (0,11)

entre parenthèses : écart-type

La fraction moyenne de feuille dans la quantité moyenne ingérée de la paille varie de 0,46 à 0,48. Celle-ci signifie que l'animal a une grande préférence pour les feuilles de la paille car la fraction moyenne de feuille dans l'offre n'est que de 0,28 ; de plus, l'ingestion de feuille et de tige, comme pourcentage de l'offre, s'élève en moyenne à 81 % et 37 %, respectivement. La fraction ingérée de feuille augmente significativement avec l'offre pour SUP0, SUP1 et SUP2 ($P < 0,001$), dans laquelle le niveau de supplémentation ne joue aucun rôle significatif (Tableau 7).

Tableau 7. Analyse de régression de la fraction de feuille ($fMOI_f$) et de l'ingestion de feuille de la paille de mil (MOI_f , $g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$) en fonction de la quantité offerte de la paille (QO_p , $g\ kg^{-0,75}\ j^{-1}$).

	a ¹⁾	b	r ²	etr ²⁾
modèle : $fMOI_f = a + b QO_p + e_r$				
SUP0	0,23 ^{***} (0,06)	0,0029 ^{***} (0,0007)	0,59	0,06
SUP1	0,20 ^{***} (0,05)	0,0032 ^{***} (0,0006)	0,66	0,05
SUP2	0,21 ^{**} (0,08)	0,0036 ^{***} (0,0011)	0,39	0,09
SUP3	0,31 ^{***} (0,09)	0,0033 (0,0017)	0,19	0,10
modèle : $MOI_f = a + b QO_p + e_r$				
SUP0	3,6 ^{**} (1,2)	0,20 ^{***} (0,01)	0,95	1,2
SUP1	2,7 (1,8)	0,20 ^{***} (0,02)	0,85	2,0
SUP2	2,7 [*] (1,4)	0,19 ^{***} (0,02)	0,86	1,5
SUP3	2,3 (1,6)	0,16 ^{***} (0,03)	0,65	1,8

1) ^{***} = 0,01, ^{**} = 0,05, ^{*} = 0,10 niveaux significatives (test : estimation diffère de 0) ;

2) *etr* = écart type résiduelle ;

entre parenthèses : erreur standard de l'estimation.

Les mêmes tendances se dégagent avec la MOI_f ; pour tous les lots l'augmentation de l'ingestion de feuille est linéaire avec l'offre de la paille ($P < 0,001$), tandis que la supplémentation avec la fane de niébé ne montre pas un effet significatif ($P = 0,05$). La sélection de feuille par l'animal est illustrée par les Figures A1 - A4 dans l'[Annexe I](#).

Pour prédire l'ingestion de la matière organique digestible ($MOID_e$) indépendant de la supplémentation et du niveau d'offre de la paille de mil il faut connaître l'interaction entre la paille et la fane de niébé en termes de l'ingestion et la digestibilité.

Les résultats des analyses de régression linéaire multiple sont présentés par le Tableau 8. Il s'agit des modèles suivants (2.2 et 2.4) :

$$SUB = a + b MOI_{fdn} + c QO_p + d (MOI_{fdn} * QO_p) + e MOI_{fdn}^2 + e_r$$

$$DMO_e \% = a + b MOI_{fdn} + c QO_p + d (MOI_{fdn} * QO_p) + e_r$$

Tableau 8. Analyse de régression de la substitution de la paille par g MOI fane de niébé (SUB) et de la digestibilité de la matière organique (DMO_e).

modèle	a ¹⁾	b	c	d	e	r ²	etr ²⁾
SUB	0,173 ^{**} (0,03)	-0,010 ^{***} (0,002)	-0,0003 (0,0003)	-0,0001 ^{***} (0,0001)	0,0001 ^{***} (0,0002)	0,99	0,011
DMO_e	45,8 ^{***} (1,9)	0,31 ^{***} (0,07)	0,020 (0,022)	-0,0004 ^{***} (0,0010)		0,74	2,65

1) ^{***} = 0,01, ^{**} = 0,05, ^{*} = 0,10 niveaux significatifs (test : estimation diffère de 0) ;

2) *etr* = écart type résiduelle ;

entre parenthèses : erreur standard de l'estimation.

Il ressort que l'ingestion de la paille est substituée par la fane de niébé pour tous les niveaux de supplémentation ($P < 0,001$). L'interaction dépendra de la qualité et la quantité du supplément : des petites quantités de tourteau de coton ont montré une stimulation de l'ingestion de paille de mil ([Kaasschieter et al. , 1994](#)). La quantité offerte de la paille ne joue pas un rôle significatif dans l'effet calculé de substitution ($P < 0,05$), bien que celle-ci ne soit pas tellement claire : l'estimation du paramètre d (terme

d'interaction paille - niébé) s'écarte significativement de 0.

La quantification de l'effet de substitution et la détermination de l'ingestion maximale de la paille nous permet d'estimer l'ingestion de la paille pour chaque niveau de supplémentation et d'offre de paille (Equation 5).

Le niveau de supplémentation et la quantité offerte de paille expliquent une grande partie ($r^2=0,74$) de la variance observée dans la digestibilité (Tableau 8). Cependant, l'estimation du paramètre c du modèle DMO_e n'est pas significative ($P<0,05$). Ceci est remarquable car nous avons constaté qu'il existe une relation linéaire entre l'ingestion de feuille et la quantité offerte de la paille.

Dans l'[annexe II](#) une analyse d'ajustement des modèles utilisés est donnée. L'ingestion de la paille comme la digestibilité sont un peu surestimées avec des valeurs basses observées ; le contraire on observe avec des valeurs élevées observées.

L'estimation de la MO ingérée et la digestibilité permettent d'estimer l'ingestion de la matière organique digestible (Equation 8). La relation entre la MOID estimée et observée, comme illustrée par Fig. 3, se décrit par $MOID_e = 2.8 + 0,91 MOID_o$ avec un r^2 de 0,89.

La Fig. 3 pourrait indiquer que dans une large mesure la méthodologie choisie pour atteindre des estimations de l'ingestion de MOD, indépendamment du niveau d'offre de la paille et de supplémentation, est légitime et assez précise : la corrélation entre $MOID_e$ et $MOID_o$ est élevée, c'est-à-dire 0,94. Cependant il ne faut pas négliger que les écarts trouvés entre les valeurs estimées et observées des modèles séparés ([Annexe II](#)) se nivellent en les combinant à la $MOID_e$.

[Figure 3](#). Analyse d'ajustement du modèle $MOID_e = MOI_{ps} * DMO_e * 0,01$.

3.4. Courbes d'isoproduction

La Fig. 4 présente les courbes d'isoproduction qui reflètent toutes les combinaisons possibles de paille de mil et fane de niébé (en $g MO kg^{-0,75} j^{-1}$) pour atteindre un certain niveau de production (par rapport au niveau d'entretien de la MOD).

La figure montre que grâce à l'hétérogénéité de la paille et à la sélection de ses composantes les plus digestibles par l'animal on peut économiser l'utilisation de fane de niébé aux dépens de la paille. La combinaison fourragère, où les coûts alimentaires sont les plus bas, est donnée par le point d'intersection de la courbe avec la tangente, qui est déterminée uniquement par le rapport de prix « paille de mil : fane de niébé ». Les points d'intersection des lignes parcourues avec les courbes d'isoproduction montrent la combinaison la plus rentable avec un rapport de prix de 0,17 et 0,25.

[Figure 4](#). Courbes d'isoproduction paille de mil - fane de niébé.

3.5. Rentabilité de l'utilisation de fane de niébé

La relation linéaire entre le gain et l'ingestion de la MOD, les deux exprimés en $g kg^{-0,75} j^{-1}$ (3.2), a permis de calculer les besoins d'entretien ($MOD_e = 27,4 g kg^{-0,75} j^{-1}$). En utilisant cette donnée et en partant d'un taurillon de 175 kg PV, le Tableau 9 présente alors les estimations de paramètres de la production animale pour l'analyse de rentabilité.

Les données du menu ingéré sont indépendants du poids vif de l'animal, ceci contrairement au GMQ car on a trouvé que le $GMQ = -8,6 + 0,315 MOID$ ($r^2=0,52$).

Il est évident que la perspective du niveau « ss », qui représente plus ou moins la situation « actuelle », est morose : pendant les 90 jours le modèle estime une perte de poids vif de 21 kg.

Cette perte de poids vif diminue considérablement (avec 82 % !) en donnant déjà une petite quantité du supplément, comme illustré par le Tableau 9 (niveau 0,9 d'entretien).

Le besoin de fane de niébé varie en fonction de l'objectif de production et du niveau de prix comme montré par le Tableau 10. Il faut souligner que les refus fourragers de la paille sont considérables (jusqu'à un niveau de 51 - 55 %). Néanmoins ces rations avec des refus élevés donnent les combinaisons meilleures marchées, ce qui explique la différence entre rations d'un même niveau de production. Le refus est utilisé (et valorisé) comme fumier (litière). En donnant une quantité restreinte de la paille de mil, comme généralement en milieu paysan, les coûts fourragers augmenteront : pour le niveau 1,4 d'entretien et 25 % de refus de la paille ces coûts augmentent d'environ 27 %.

Tableau 9. Digestibilité estimée de la matière organique (DMO %), teneur estimée en azote (N , %), l'ingestion estimée de la matière organique digestible ($MOID$, $g kg^{-0,75} j^{-1}$), gain moyen quotidien estimé (GMQ , g) et croissance pondérale estimée (CP , kg) d'un

taurillon de 175 kg poids vif.

niveau de production	DMO* (%)	N* (%)	MOID (g kg ^{-0,75} j ⁻¹)	GMQ (g)	CP** (kg)
ss***	46,4	0,8	12	-234	-21
0,9e****	49,7	1,1	25	-42	-3,7
e	51,0	1,2	27	0	0
1,1e	52,5	1,3	30	42	3,7
1,2e	54,1	1,5	33	83	7,5
1,3e	56,0	1,6	36	125	11,2
1,4e	58,1	1,8	38	166	15,0

* de la ration ingérée ;

** 90 jours ;

*** ss = sans supplémentation et une offre restreinte de la paille ;

**** e = niveau d'entretien ($MOD_e = 27,4 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$).

Tableau 10. Quantité offerte moyenne en MS de la paille de mil (QO_p , kg t⁻¹ j⁻¹), ingestion moyenne de fane de niébé en MS (MSI_{fdn} , kg t⁻¹ j⁻¹), % refus de la paille, production de fumier en MO (kg) et en azote (N, kg) par un taurillon de 175 kg (poids vif début) pendant 90 jours avec 2 niveaux de prix des aliments.

	QO_p (MS)		MSI_{fdn}		refus*		MO_{fumier} **		N_{fumier} **	
	(kg t ⁻¹ j ⁻¹)		(kg t ⁻¹ j ⁻¹)		(%)		(kg t ⁻¹)		(kg t ⁻¹)	
Option***	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
ss****	1,796	1,796	0,000	0,000	20	20	75	75	0,8	0,8
0,9e	3,307	3,939	0,495	0,368	37	43	184	213	1,8	2,0
e	3,406	4,047	0,744	0,615	39	45	205	235	2,0	2,3
1,1e	3,460	4,098	1,026	0,897	42	47	226	255	2,2	2,4
1,2e	3,435	4,052	1,354	1,229	45	49	247	276	2,3	2,6
1,3e	3,282	3,857	1,736	1,620	48	52	267	293	2,5	2,7
1,4e	2,972	3,501	2,167	2,059	51	55	282	305	2,6	2,8

* refus fourrager de la paille comme % de l'offre ;

** pendant 90 jours et y compris une perte de stockage, lessivage dans le sol de 20 % ;

*** option I : prix paille de mil 2 Fcfa kg⁻¹ ; fane de niébé 8 Fcfa kg⁻¹ ;

option II : prix paille de mil 6 Fcfa kg⁻¹ ; fane de niébé 35 Fcfa kg⁻¹ ;

**** voir explication Tableau 9.

Les indicateurs économiques sont présentés dans le Tableau 11 en considérant 2 niveaux de prix des aliments c'est-à-dire un prix de 2 et 6 Fcfa (Option I et II, respectivement) pour la paille de mil et 8 et 35 Fcfa (Option I et II, respectivement) pour la fane de niébé. L'[annexe III](#) donne un récapitulatif plus détaillé.

Tableau 11. Valeur de production (Fcfa), besoin de main d'oeuvre en homme-jour (hj), bénéfice en Fcfa et par homme-jour (Fcfa) pour une période de 90 jours d'un taurillon de 175 kg (poids vif début) avec une ration de paille de mil et fane de niébé et 2 niveaux de prix des aliments.

	Valeur de production	Option I*			Option II		
		Main d'oeuvre	Bénéfice**	Bénéfice par hj***	Main d'oeuvre	Bénéfice	Bénéfice par hj
	(Fcfa)	(hj)	(Fcfa)	(Fcfa)	(hj)	(Fcfa)	(Fcfa)
ss	94.310	2,5	-11310	-4590	2,5	-13060	-5500
0,9e	103.930	3,2	-2415	-755	3,4	-4865	-1430
e	106.295	3,3	-280	-85	3,5	-3465	-980
1,1e	108.680	3,5	1855	535	3,7	-2140	-580
1,2e	111.080	3,6	3990	1119	3,8	-925	-245

1,3e	113.490	3,7	6110	1650	3,9	165	45
1,4e	115.890	3,8	8210	2180	3,9	1170	295

* option I : prix paille de mil 2 Fcfa kg⁻¹ ; fane de niébé 8 Fcfa kg⁻¹ ;

option II : prix paille de mil 6 Fcfa kg⁻¹ ; fane de niébé 35 Fcfa kg⁻¹ ;

** sans main d'oeuvre ;

*** hj = homme-jour.

Les besoins totaux en main d'oeuvre par taurillon (90 jours) varient selon le niveau de production, de 3,6 à 4,5 homme-jour. Il y a des petits écarts entre les deux options, expliqués par des différences entre les besoins fourragers, la quantité de refus et la production de fèces (2.7).

Vue la perte considérable de poids vif de l'animal pendant les 90 jours, il n'est pas étonnant que celle-ci se reflète aussi en termes monétaires : sans considérer les coûts de main d'oeuvre la perte par animal dans la situation « actuelle » s'élève à Fcfa 11310 et à Fcfa 13060 pour les deux options. Le Tableau 11 montre que 1) l'utilisation de fane de niébé améliore cette situation, surtout avec le niveau bas de prix, et 2) qu'il faut s'orienter vers une production animale la plus élevée en utilisant la fane de niébé.

Néanmoins, le niveau du prix de la fane de niébé (et de la paille) déterminera la rentabilité de son utilisation. Le Tableau 11 montre que quant à la rémunération de la main d'oeuvre le niveau 1,4 d'entretien de l'option I donne un bénéfice par homme-jour de 2180 Fcfa, lequel se trouve bien supérieur à un salaire d'un journalier en ce moment (Fcfa 960). L'utilisation de la fane de niébé comme supplément de la paille est à peine intéressante avec des niveaux plus élevés de prix (option II). La rentabilité de cette combinaison fourragère, exprimée comme le rapport bénéfice net : coûts totaux, est très basse : dans la situation la plus favorable la rentabilité s'élève à 0,06 ([Annexe III](#)).

Le Tableau 12 donne les résultats d'une analyse de sensibilité pour déterminer l'effet de certains changements des prix intrants et extrants sur le bénéfice, sans considérer les coûts de main d'oeuvre, de l'utilisation de niébé.

Avec les deux niveaux de prix donnés de la ration les bénéfiques (sans main d'oeuvre rémunérée) sont d'une manière absolue à peine sensibles pour des changements en ce qui concerne les soins vétérinaires, les amortissements et les pertes de fumier. Ceci s'explique par le fait que les coûts des fourrages constituent environ 85 à 95 % des coûts totaux (sans main d'oeuvre rémunérée et l'achat de l'animal).

Tableau 12. Analyse de sensibilité de la rentabilité de l'utilisation de fane de niébé avec la paille de mil, exprimée en bénéfice (sans coûts de main d'oeuvre) par animal (Fcfa).

Changements*		Option I**	Option II
		bénéfice (Fcfa)	bénéfice (Fcfa)
poids vif _{début} = 250 kg	ss	-14845 (31)***	-15790 (31)
	e	-400 (43)	-4560 (32)
	1,4e	10680 (30)	1500 (28)
durée de supplémentation : 180 jours	ss	-22000 (95)	-23385 (94)
	e	-565 (100)	-6930 (100)
	1,4e	16750 (104)	2210 (89)
prix poids vif = 900 Fcfa kg ⁻¹	ss	-16900 (49)	-17620 (46)
	e	-280 (0)	-3465 (0)
	1,4e	12785 (56)	5740 (391)
soins vétérinaires & amortissements : + 100 %	ss	-11525 (2)	-12245 (2)
	e	-505 (80)	-3690 (6)
	1,4e	7980 (-3)	935 (-20)
perte fumier : MO : 40 % N : 40 %	ss	-11435 (1)	-12155 (2)
	e	-605 (115)	-3835 (11)
	1,4e	7775 (-5)	695 (-41)

* voir Tableau 2 pour des données de base ;

** option I : prix paille de mil 2 Fcfa kg⁻¹ ; fane de niébé 8 Fcfa kg⁻¹ ;

option II : prix paille de mil 6 Fcfa kg⁻¹ ; fane de niébé 35 Fcfa kg⁻¹ ;

*** entre parenthèses : changement relatif (%) par rapport à la situation de départ (Tableau 11) ;

les chiffres en « italiques » signifient encore une perte plus grande.

Il ne sera pas étonnant que la situation s'aggrave pour des niveaux de production en dessous de l'entretien, car il n'y a que des pertes

de poids vif. Les améliorations se trouvent avec le niveau relativement élevé de production (et avec des prix bas de la ration) en augmentant le poids vif de l'animal (des coûts fourragers plus élevés sont compensés par une croissance pondérale plus élevée), la durée de supplémentation et, logiquement, le prix de la viande. Pour ce dernier cas même pour option II la rentabilité par homme-jour devient raisonnable (c'est-à-dire Fcfa 1276).

Dans le calcul de la rentabilité de l'utilisation des suppléments pendant la saison sèche on doit préciser l'objectif de production, comme la vente après une période d'embouche ou la survie des animaux pendant cette période. En ce qui concerne le dernier objectif il faudra tenir compte du phénomène de la croissance compensatrice pendant l'hivernage comme illustrée par le Tableau 13.

Pendant la saison sèche le gain moyen s'élève à 618 g par jour pour le lot fortement supplémenté ($2,4 \text{ kg t}^{-1} \text{ j}^{-1}$) contre une perte de 18 g par jour pour le lot témoin. Pendant l'hivernage (Période II), où tous les animaux n'ont pas reçu de tourteau, le gain moyen du lot témoin est impressionnant, c'est-à-dire $954 \text{ g t}^{-1} \text{ j}^{-1}$, et est à peu près 70 % et 15 % plus élevé que celui des lots c et b, respectivement. Dans un degré moindre le lot légèrement supplémenté (lot b) montre aussi cette croissance compensatrice (46 % plus élevée par rapport au lot c).

La différence en croissance pondérale entre les lots a et c s'élève à 128 kg au début d'hivernage ; cette différence n'est que 51 kg en fin d'hivernage ; ceci démontre ainsi la nécessité d'une utilisation raisonnable des suppléments.

Tableau 13. Niveau de supplémentation avec tourteau de coton ($\text{kg t}^{-1} \text{ j}^{-1}$) pendant la saison sèche (Période I) et gain moyen quotidien (GMQ, $\text{g t}^{-1} \text{ j}^{-1}$) des taurillons pâturant au Ranch de la CRRA-Niono.

	lot a ¹⁾	lot b	lot c
période I (15/01 - 30/06/1993)			
tourteau de coton ($\text{kg t}^{-1} \text{ j}^{-1}$)	0	0,5	2,4
GMQ	- 18 (51)	358 (112)	618 (87)
période II (01/07 - 30/10/1993)			
GMQ	954 (128)	829 (114)	568 (220)

entre parenthèses : écart-type ;

¹⁾ chaque lot est constitué de 6 taurillons (Zébus).

4. Discussion et conclusions

La quantité offerte de la paille de mil (et ainsi l'hétérogénéité en qualité) influence positivement l'ingestion comme la digestibilité de la matière organique, laquelle est causée par la consommation sélective de l'animal. Bien que la paille ait été hachée pour faciliter la distribution (environ 20 cm de longueur), les taurillons montrent une grande préférence pour les feuilles de la plante : une relation linéaire, indépendante de la supplémentation avec la fane de niébé, a été retrouvée entre l'offre et l'ingestion des feuilles. La fraction ingérée de feuille était en moyenne 0,47 de l'ingestion totale (fraction de feuille dans le menu : 0,28). Cette fraction est un peu plus élevée que celle rapportée par Powell (1985), qui a trouvé une valeur de 0,37 par des bovins, pâturant aux champs de mil pendant 8 semaines après la récolte. Cependant, la fraction ingérée de feuille par rapport à l'offre de feuille (0,81) était égale pour les deux expérimentations.

Dans la gamme étudiée d'offre de la paille l'ingestion maximale n'est pas atteinte. Ceci montre la difficulté de déterminer la valeur nutritive de ce type de fourrages hétérogènes. Pour ces fourrages un niveau d'offre de 120 % sert en général comme un standard, et ne suffira pas pour s'exprimer sur la valeur fourragère (Zemmelink, 1980 ; [Kaasschieter et al., 1994](#)). De plus, il est évident que la mention des niveaux d'offre est une condition primaire pour pouvoir vraiment comparer les résultats des différents essais de l'ingestion et de la digestion dans la littérature.

L'ingestion de la matière organique digestible de la paille de mil se trouve bien en dessous des besoins d'entretien d'un taurillon, c'est-à-dire $20,6 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ j}^{-1}$. L'ingestion de la MO(D) et la digestibilité de la paille sont plus basses que celle utilisée en 1992 ([Kaasschieter et al., 1994](#)). Cette variation interannuelle s'explique surtout par des différences dans l'effectif des animaux et des facteurs de la plante (Reed et al., 1988 ; Prasad et al., 1993).

L'effet de la supplémentation avec la fane de niébé sur l'ingestion moyenne de la matière organique digestible est net et semble être linéaire avec le niveau de supplémentation ; contrairement à l'essai avec le tourteau de coton ([Kaasschieter et al., 1994](#)) un effet de stimulation de l'ingestion de la paille par l'ingestion de niébé n'a pas été trouvé. Le modèle de l'ingestion fourragère de Ketelaars et Tolcamp montre que ce phénomène pourrait dépendre de la qualité (N, DMO) de la ration de base comme du supplément (Ketelaars & Tolcamp, 1991).

La modélisation de l'ingestion et la digestibilité de la DMO en fonction de la supplémentation et la quantité offerte de la paille a

permis d'établir les courbes d'isoproduction. Sur la base du rapport de prix « fane de niébé : paille de mil » ces courbes d'isoproduction donnent la possibilité de calculer pour certains niveaux (relativement restreints) de production, exprimée comme fraction des besoins d'entretien, la combinaison la plus rentable de paille et de fane de niébé.

Une analyse économique montre que la situation économique actuelle au Mali est à peine favorable pour l'utilisation rentable (en termes des ristournes économiques de l'investissement) de fane de niébé comme supplément avec la paille de mil par des taurillons. Cependant, il faut souligner que la situation fourragère pendant la saison sèche (surtout les 3 derniers mois) est telle que l'élevage ne sera pas du tout rentable : en partant d'une ration avec cette qualité de la paille de mil (sans suppléments) et sans considérer les coûts de la main d'oeuvre la perte pendant 3 mois varie de Fcfa 11.310 à Fcfa 13.060 par animal.

La perspective d'une utilisation rentable de fane de niébé se trouve surtout dans le système mixte d'élevage - agriculture plus ou moins « fermé ». Si le paysan produit le niébé sur sa propre ferme (sur les champs en jachères ou en rotation avec des céréales) il arrivera à une rémunération de la main d'oeuvre investie de Fcfa 2180 par jour par animal (durée supplémentation : 90 jours). Avec le prix du marché du niébé, actuellement variant de 35 à 75 Fcfa par kg, et sans augmentation de prix de la viande, la rentabilité aggraverait très vite.

La rentabilité de la supplémentation pendant la saison sèche est dépendante du type de supplément et de la qualité (et disponibilité !) de la ration de base. Des résultats pas encore publiés d'un exercice similaire avec le tourteau de coton comme supplément sont plus prometteurs (EEF) du point de vue de la production animale comme le rapport de prix de la paille de mil et le tourteau de coton. De plus, sur la base annuelle il faut tenir compte du phénomène de la croissance compensatrice pendant l'hivernage : l'effet positif de la supplémentation pendant la saison sèche sur l'évolution du poids vif sera partiellement compensé par la croissance compensatrice pendant l'hivernage.

Il est difficile de se prononcer sur la rentabilité de l'utilisation de la fane de niébé pendant la saison sèche. En termes zootechniques, les effets sur l'ingestion d'énergie et par conséquent sur la croissance pondérale sont nets. La supplémentation pourra avoir ainsi un effet positif sur le taux de mortalité pendant la saison sèche. Du point de vue économique les revenus nets sont très faibles, bien que par rapport à la situation sans utilisation du supplément les bénéfices s'améliorent considérablement. De plus, la culture du niébé à la ferme aura des effets secondaires en ce qui concerne l'alimentation humaine et la fertilité du sol, renforçant ainsi la durabilité de ce système de production.

Références

- ARC (Agricultural Research Council), 1980. *The nutrient requirements of ruminants livestock*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, 351 pp.
- Breman, H. & N. de Ridder (Eds), 1991. [Manuel sur les pâturages des pays sahéliens](#). Karthala, Paris, 485 pp.
- Brouwer, B.O., 1992. *DBStat Version 3*. Department of Tropical Animal Production. Agricultural University.
- Duivenbooden, N. van & P.A. Gosseye (eds). *Production végétales, animales et halieutiques. Compétition pour des ressources limitées : Le cas de la cinquième Région du Mali, Rapport No 2 Bovins*. CABO/ESPR, Wageningen.
- Kaasschieter, G.A., Y. Coulibaly & M. Kané, 1994. *Supplémentation de la paille de mil (Pennisetum typhoides) avec le tourteau de coton : effets sur l'ingestion, la digestibilité et la sélection*. [Rapports PSS No. 4](#), Wageningen 26 pp.
- Kenney, P.A. & J.L. Black, 1984. *Factors affecting feed diet selection by sheep. 4 levels of feeding*. *Australian Journal of Agricultural Research* 35, 839-843.
- Ketelaars, J.J.M.H. & B.J. Tolkamp, 1991. *Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants*. Doctoral thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 254 pp.
- Owen, E., R.H. Wahed, R. Alimon & W. El-Naiem, 1989. *Strategies for feeding straw to small ruminants: upgrading or generous feeding to allow selective feeding*. Dans : Said. A.N. & B.H. Dzowela (Eds). *Overcoming constraints to the efficient utilization of agricultural by-products as animal feed*. *Proceeding of the 4th annual workshop held at the Institute of Animal Research, Mankon Station, Bamenda, Cameroon, 20 - 27 october 1987*.
- Payne, R.W., P.W. Lane, A.E. Ainsley, K.E. Bicknell, P.G.N. Digby, S.A. Harding, P.K. Leech, H.R. Simpson, A.D. Todd, P.J. Verrier & R.P. White, 1987. *Genstat 5 reference manual*. Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 749 pp.
- Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye (Eds), 1982. [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.

Powell, J.M., 1985. Yields of sorghum and millet and stover consumption by livestock in the Subhumid Zone of Nigeria. *Trop. Agric. (Trinidad)* 62, 77-81.

Prasad, C.S., K.T. Sampath, S.N. Nai & A.L. Joshi, 1993. Physical, chemical and morphological characteristics of slender and course straws and response to urea treatment -A review. Dans : *Feeding of ruminants on fibrous crop residues. Aspects of treatment, feeding, nutrient evaluation, research and extension.* Singh K. & H. Schiere (Eds). *Proceedings of an international workshop held at the National Dairy Research Institute, Karnal (Haryana), India, February 4 - 8, 1991, p 320 - 335.*

PSS, 1994. *Résultats et projets d'activités du programme Production Soudano-Sahélienne. Comité technique régional de la recherche agronomique. 3ème session, Ségou.*

Reed, J.D., Y Kebede & L.K Fussell, 1988. Factors affecting the nutritive value of sorghum and millet crop residues. Dans : J.D. Reed, B.S. Capper & P.H.J. Neate (eds), 1988. *Plant breeding and the nutritive value of crop residues. Proceedings of a workshop held at ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, 7 - 10 December 1987, ILCA, Addis Ababa.*

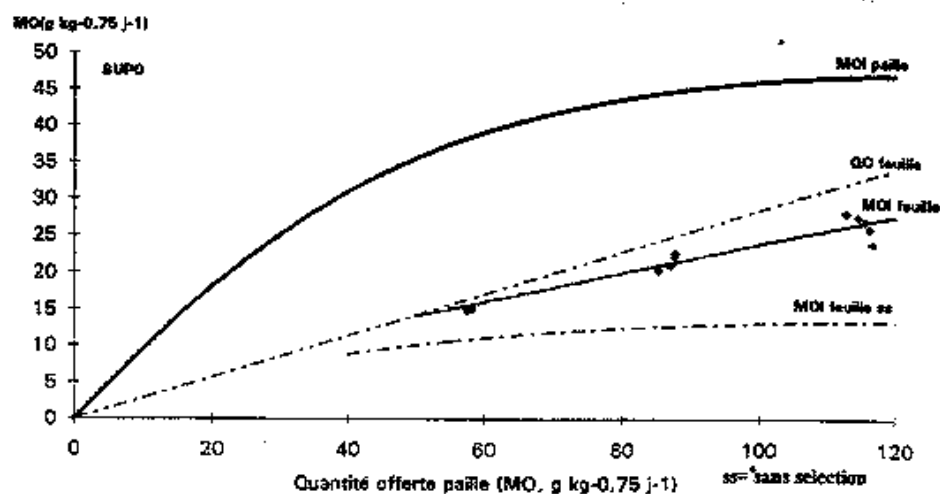
Sissoko, K, E.J. Bakker, N'f. Dembelé, W. Quak & M.S.M. Touré, (en prép.) *Définition, description et analyse économique partielle des activités d'élevage en zone soudano-sahélienne. Cas de la production de viande bovin.* [Rapport PSS.](#)

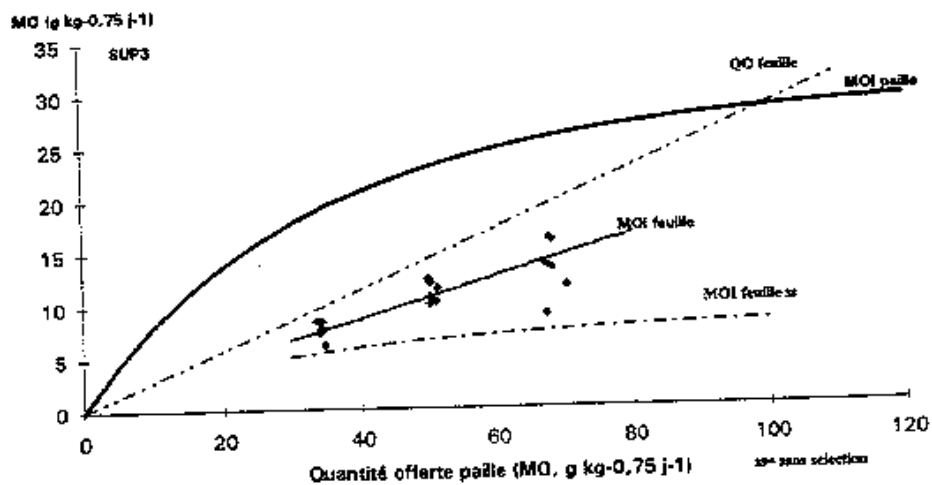
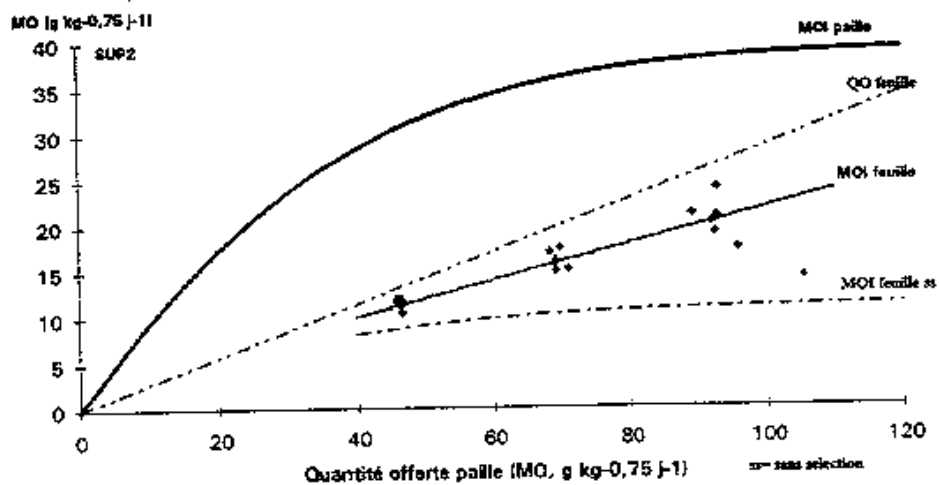
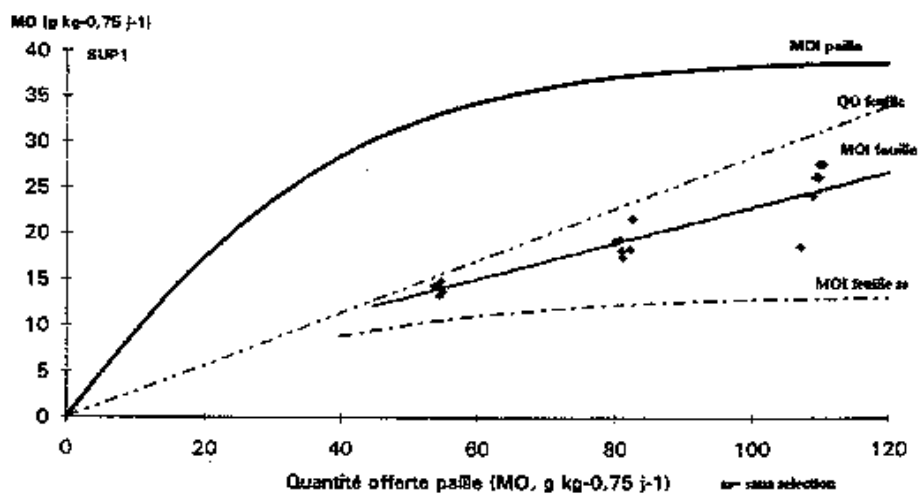
Wahed, R.A., E. Owen, M. Naate & B.J. Hosking, 1990. Feeding straw to small ruminants: effect of amount offered on intake and selection of barley straw by goats and sheep. *Anim. Prod.* 15, 283-289.

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

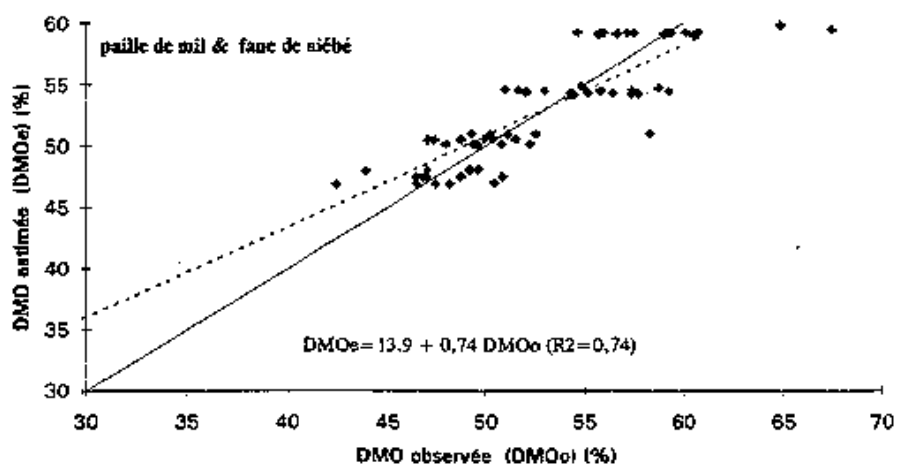
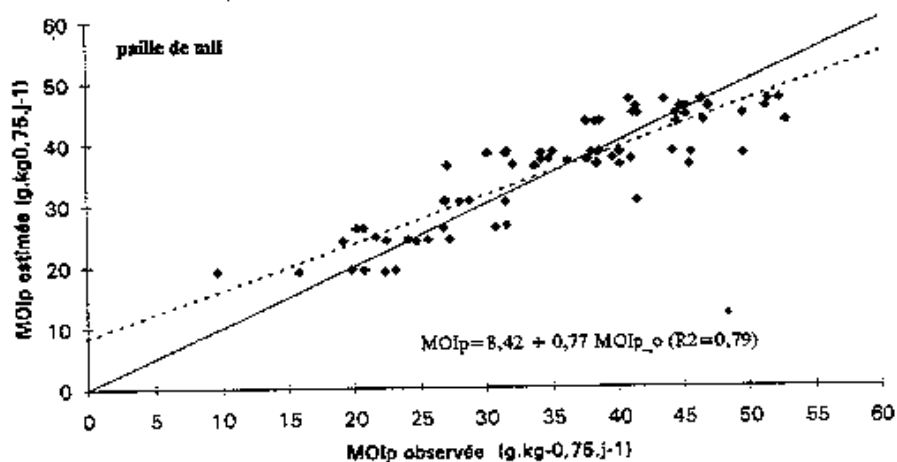
Annexes

Annexe I. Sélection de feuille





Annexe II. Analyse d'ajustement des modèles MOI et DMO



Annexe III. Analyse économique de l'utilisation de fane de niébé

PAILLE DE MIL et FANE DE NIEBE

paille de mil (kg MB) 2 fane de niébé (kg MB) 8		rapport de prix: 0.25										main d'oeuvre familial					main d'oeuvre rémunéré	
niveau de production	QO MS paille kg/t/j	MSI paille kg/t/j	refus paille %	MSI sup kg/t/j	coût ration Fcfa/t/j	#hj	MO fumier fèces kg	MO fumier refus kg	N fumier fèces kg	N fumier refus kg	valeur de production Fcfa	coûts totaux Fcfa	bénéfice Fcfa	bénéfice par hj Fcfa	b/c	bénéfice Fcfa	b/c	
sa	1,796	1,437	20	0,000	4	2,5	51	24	0,6	0,2	94.309	105.620	-11.311	-4.591	0,11	-13.159	0,12	
0.9e	3,307	2,078	37	0,495	12	3,2	102	82	1,1	0,7	103.932	106.346	-2.414	-753	0,02	-4.818	0,04	
e	3,406	2,072	39	0,744	14	3,3	116	89	1,3	0,7	106.293	106.575	-281	-84	0,00	-2.786	0,03	
1.1e	3,460	2,017	42	1,026	17	3,5	130	96	1,4	0,8	108.679	106.823	1.856	534	0,02	-749	0,01	
1.2e	3,435	1,900	45	1,354	20	3,6	145	102	1,5	0,8	111.082	107.093	3.990	1.109	0,04	1.290	0,01	
1.3e	3,282	1,707	48	1,736	23	3,7	162	105	1,6	0,9	113.492	107.382	6.109	1.650	0,06	3.332	0,03	
1.4e	2,972	1,446	51	2,167	27	3,8	180	102	1,8	0,8	115.892	107.681	8.212	2.178	0,08	5.384	0,05	
paille de mil (kg MB) 6 fane de niébé (kg MB) 35		rapport de prix: 0.17															main d'oeuvre	

niveau de production	QO MS paille kg/t/j	MSI paiile kg/t/j	refus paille %	MSI sup kg/t/j	coût ration Fcfa/t/j	#hj	MO fumier fèces kg	MO fumier refus kg	N fumier fèces kg	N fumier refus kg	valeur de production Fcfa	main d'oeuvre familial				rémunéré	
												coûts totaux Fcfa	bénéfice Fcfa	bénéfice par hj Fcfa	b/c	bénéfice Fcfa	b/c
sa	1,796	1,437	20	0,000	12	2,5	51	24	0,6	0,2	94.309	106.340	-12.032	-4.883	0,11	-13.880	0,13
0.9e	3,939	2,226	43	0,368	41	3,4	99	114	1,1	0,9	104.112	108.977	-4.866	-1.430	0,04	-7.418	0,07
e	4,047	2,224	45	0,615	52	3,5	113	122	1,3	1,0	106.475	109.941	-3.466	-979	0,03	-6.121	0,05
1.1e	4,098	2,172	47	0,897	64	3,7	127	128	1,4	1,0	108.859	111.001	-2.142	-583	0,02	-4.897	0,04
1.2e	4,052	2,052	49	1,229	77	3,8	143	133	1,5	1,1	111.255	112.180	-925	-244	0,01	-3.768	0,03
1.3e	3,857	1,852	52	1,620	91	3,9	159	134	1,6	1,1	113.651	113.484	167	43	0,00	-2.744	0,02
1.4e	3,501	1,582	55	2,059	106	3,9	177	128	1,8	1,0	116.037	114.869	1.168	297	0,01	-1.781	0,02

sa=situation actuelle
e=entretien
QO=quantité offerte

MSI=matière sèche ingerée
hj=hommejour
MO=matière organique

b/c= bénéfice/coûts
MB=matière brute

Citations:

[1] Les résultats présentés ici font partie d'une série d'essais de l'ingestion fourragère exécutée par l'Equipe Exploitation Fourragère. Le premier essai exécuté en 1992 avec la ration paille de mil et tourteau de coton comme supplément, a été publié comme Rapport PSS n° 4 (Kaasschieter et al., 1994).

[2] Ce modèle diffère de celui utilisé dans l'essai de l'ingestion fourragère de paille de mil et tourteau de coton dans lequel on a pris la fraction de tourteau de l'ingestion totale et le niveau de refus de la paille comme variables indépendants (Kaasschieter et al., 1994). Ces variables ont l'inconvénient qu'on ne peut les déterminer que si l'ingestion de la paille est connue. Les deux modèles expliquent environ la même proportion de la variance observée de la digestibilité de la MO.

