

Rapports PSS N° 4

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

Projet de coopération scientifique

Supplémentation de la paille de mil (*Pennisetum thyphoides*) avec le tourteau de coton :

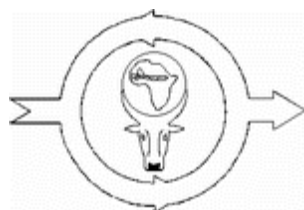
effets sur l'ingestion, la digestibilité et la sélection

G.A. Kaasschieter (AB-DLO ¹), Y. Coulibaly & M. Kané (IER ²),

¹) Adresse : 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



P S S

Rapports PSS N° 4
Wageningen, 1994

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 4

Table des matières

- [Résumé](#)
 - [1. Introduction](#)
 - [2. Matériels et méthodes](#)
 - [2.1. Animaux](#)
 - [2.2. L'ingestion totale attendue de la ration](#)
 - [2.3. L'ingestion de la paille de mil](#)
 - [2.4. La digestibilité de la matière organique](#)
 - [2.5. L'estimation de la matière organique ingérée digestible.](#)
 - [2.6. L'ingestion de feuilles](#)
 - [2.7. Gain moyen quotidien](#)
 - [2.8. L'analyse statistique](#)
 - [3. Résultats](#)
 - [3.1. Composition de la paille](#)
 - [3.2. Ingestion de la matière organique](#)
 - [3.3. Digestibilité de la matière organique](#)
 - [3.4. Ingestion de la matière organique digestible](#)
 - [3.5. Stratégies fourragères](#)
 - [4. Discussion et conclusion](#)
 - [Références](#)

- [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

La faible qualité des ressources fourragères disponibles dans la période sèche dans les pays sahéliens est la cause la plus importante de la productivité basse des ruminants. L'utilisation des suppléments de bonne qualité (considérée comme intrant externe) dans la ration offre une perspective pour l'amélioration de la production animale. Dans ce cas, une question importante de recherche est la détermination de l'interaction entre l'ingestion du fourrage grossier et l'ingestion du supplément.

La recherche de l'Equipe Exploitation Fourragère du projet PSS est orientée vers l'utilisation la plus efficace des suppléments fourragers dans plusieurs systèmes d'élevage (stabulation - parcours naturels) par des ruminants en tenant compte de la sélection fourragère de l'animal. Avec les résultats de la recherche pluriannuelle l'équipe doit développer un modèle de régulation de l'ingestion fourragère pour des conditions tropicaux.

Ce rapport de recherche présente les résultats d'un essai d'ingestion fourragère avec 24 taurillons (4 lots de 6 animaux). La ration est constituée d'une offre variable de paille de mil (*Pennisetum thyphoides*) (fourrage grossier), supplémentée avec 4 niveaux de tourteau de coton.

L'ingestion maximale (de la matière organique) de la paille de mil par l'animal est fortement influencée par le niveau d'offre de la paille : Au niveau des 4 lots, 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 $55,5 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$. 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 donne une substitution de l'ingestion de la paille par le tourteau de coton.

L'essai montre, que grâce à l'hétérogénéité de la plante de mil (paille), il y a une sélection des composantes les plus digestibles de la paille de mil par l'animal : l'ingestion de feuille 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'iso-production qui reflètent toutes les combinaisons possibles de paille de mil et tourteau, sont établies pour atteindre un certain niveau de production. La ration la plus rentable, qui dépend du rapport de prix 'tourteau/paille', est calculée avec ces courbes. Avec un rapport de prix (4/1) la combinaison la plus rentable pour un animal de 200 kg au niveau d'entretien se compose de 3,9 kg de paille de mil et 0,114 kg de tourteau de coton par jour ; au niveau 1,4 d'entretien, lequel correspond à un gain moyen quotidien estimé de 323 g, 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.

Avec une telle utilisation de la paille de mil et du tourteau de coton, comme intrant externe, une option technique pour l'amélioration de la production animale dans un tel système de production (l'activité mil - bovins) est définie. Un analyse des facteurs socio-économiques devra montrer la faisabilité de la durabilité de ce système de production.

1. Introduction

Dans la zone soudano-sahélienne les systèmes d'exploitation agricole sont souvent caractérisés par une surexploitation des terres. A cause de la pression démographique et d'une demande croissante à satisfaire en produits agricoles, on observe une augmentation de l'utilisation des terres pastorales par les agriculteurs, qui deviennent aussi de plus en plus

propriétaires d'animaux.

Par conséquent, la pression sur les pâturages naturels est très grande, tandis que la quantité et la qualité de ces pâturages sont médiocres pendant la saison sèche. Il en résulte une faible productivité animale. La faible qualité des pâturages naturels est causée par la pauvreté en éléments nutritifs, notamment le déficit en azote et en phosphore ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)).

Une part importante de ressources fourragères disponibles dans les systèmes agro-pastoraux pendant la saison sèche est constituée par les résidus de récoltes (paille de céréales) de faible qualité. Leur utilisation est presque réduite à la pâture en plein champs après la récolte. L'alimentation des animaux en stabulation avec des résidus de récoltes ramassés sur les champs est une pratique restreinte dans la zone soudano-sahélienne.

Une des options techniques pour diminuer la pression des pâturages naturels est l'amélioration de la qualité de la base fourragère par la production de foin de bonne qualité (comme la culture des légumineuses).

Une diminution des effectifs d'animaux par unité de superficie aura aussi un effet sur la pression des parcours naturels. Ceci veut dire que les animaux devront être mis de plus en plus en stabulation. Pour ce système de production une utilisation optimale des résidus de récolte pendant la saison sèche, supplémentés par des fourrages de bonne qualité ou des concentrées pourrait augmenter la productivité des ruminants. Dans ce cas la question importante de recherche est la détermination de l'interaction entre l'ingestion du foin grossier et l'ingestion du supplément.

Les résidus de récolte, comme la paille de mil et de sorgho, sont caractérisés par une grande hétérogénéité en qualité ; par conséquent la sélection de différentes parties de la plante (tige, gaine de feuille, feuille, épi) par le ruminant est un paramètre très important sur l'ingestion volontaire maximale (Zemmelink, 1980 ; [Breman & de Ridder, 1991](#) ; Wahed *et al.*, 1990). La sélection par le ruminant de ce type de foin sera plus importante quand la quantité offerte (et par conséquent le pourcentage de refus) est élevée, et influencera positivement l'ingestion et la digestibilité du foin.

Dans l'essai qui fait l'objet de la présente recherche susmentionnée, ces deux aspects, c'est-à-dire

- 1) l'effet de la supplémentation sur l'ingestion fourragère et la digestibilité et
- 2) la faculté de sélection par le bovin, sont étudiées en prenant la paille de mil (*Pennisetum thyphoides*) comme foin grossier et le tourteau de coton comme supplément.

L'objectif spécifique du dit essai est de déterminer l'ingestion maximale de la ration, exprimée en matière organique (digestible), par des taurillons en fonction des différents niveaux offerts de la paille de mil et 4 niveaux de supplémentation de tourteau de coton.

Les résultats présentés ici sont les premiers d'une série d'essais de l'ingestion fourragère exécutée par l'Equipe Exploitation Fourragère du Projet PSS. Les résultats préliminaires de cet essai ont été publiés par Kané (1993). La recherche de l'Equipe Exploitation Fourragère est orientée vers l'utilisation la plus efficace des suppléments fourragers par des ruminants pour plusieurs systèmes d'élevage (stabulation - parcours naturels) en tenant compte du comportement fourragère de l'animal (sélection). Avec les résultats de la recherche pluriannuelle l'équipe élaborera un modèle de régulation de l'ingestion fourragère pour des conditions tropicales (supplémentation des rations de faible qualité). Avec un tel modèle le besoin d'effectuer ce type d'essais d'ingestion fourragère sera fortement diminué.

2. Matériels et méthodes

2.1. Animaux

Quatre lots de 6 zébus mâles en croissance (poids vif : 180 - 240 kg) sont soumis aux 4 niveaux de supplémentation (SUP0 - SUP3) de tourteau de coton, correspondants à 0% (témoin), 20%, 40% et 60%, respectivement, de l'ingestion volontaire totale attendue. Chaque lot est subdivisé en trois sous groupes de 2 animaux qui reçoivent environ 130, 195 et 260%, respectivement, de l'ingestion volontaire prévue de paille de mil. 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 (voir Tableau 1).

Tableau 1. Dispositif expérimental d'un lot.

LOT	sous groupes		I	II	III	
n=6		animaux	n=2	n=2	n=2	
	pm 1:	adaptation	28 jours	QO1	QO2	QO3
		mesure	15 jours			
	pm 2:	adaptation	5 jours	QO2	QO3	QO1
		mesure	15 jours			
	pm 3:	adaptation	5 jours	QO3	QO1	QO2
		mesure	15 jours			

SUP = supplémentation ; pm = période de mesure ; QO =Quantité offerte

Le tourteau de coton est distribué 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 semaine un sous-échantillon de chacun de ces différents échantillons est pris, séché à l'étuve (60deg. C) et broyé (1 mm) pour l'analyse de la matière sèche, des cendres, de N, de la cellulose brute, NDF, ADF et ADL.

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 totale attendue de la ration

L'ingestion volontaire de la matière organique (MOI) est calculée sur la base de la teneur en azote et de la digestibilité de la matière organique de la paille de mil et du tourteau de coton selon l'équation suivante (Ketelaars & Tolcamp, 1991) :

$$MOI = c1 * (-42,8 + 2,3039 * DMO_r - 0,0175 * DMO_r^2 - 1,8872 * N_r^2 + 0,2242 * N_r * DMO_r)$$

($r^2 = 0,65$; $rsd=8,9$) (équation 1)

où :

MOI est la matière organique ingérée ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)

DMO_r est la digestibilité de la matière organique de la ration (%)

$$DMO_r = (\% \text{ tdc} * DMO_{\text{tdc}} + (100 - \% \text{ tdc}) * DMO_{\text{pdm}}) * 0,01$$

N_r est la teneur en azote de la ration (% en MO)

$$N_r = (\% \text{ tdc} * N_{\text{tdc}} + (100 - \% \text{ tdc}) * N_{\text{pdm}}) * 0,01$$

tdc est le tourteau de coton et pdm est la paille de mil

c1 est le facteur de conversion ovin → bovin (= 1,4)

Ce modèle a été établi sur la base d'une analyse des 831 essais d'ingestion fourragère exécutés avec des ovins. Dans ces essais le niveau d'alimentation variait de 110 à 120% du niveau *ad libitum* (10 à 20% de refus).

Pour l'essai présent le modèle a été ajusté pour les bovins avec un facteur de correction de 1,4, lequel correspond à la fraction Besoin $MOD_{\text{entretien}}^{\text{bovin}} / MOD_{\text{entretien}}^{\text{ovine}}$, venant des tableaux de valeur nutritives de ARC (1980).

2.3. 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)

$$MOI_e = MOI_m * [(1 - e^{-p * QO/MOI_m})^h]^{1/h} \quad (\text{équation 2})$$

avec : $0 < p \leq 1$

$m > 0$

$h > 0$

où : MOI_e est la matière organique ingérée ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) ;

MOI_m est la matière organique maximale ingérée ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) ;

QO est la quantité offerte de matière organique du fourrage ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) ;

p est la fraction du fourrage acceptable, quelque soit la quantité offerte ;

h est le paramètre de courbe, tel que $MOI = MOI_m * (1 - e^{-1})^{1/h}$ quand $QO = MOI_m/p$.

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 $QO = MOI_m/p$ (cf Figure 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).

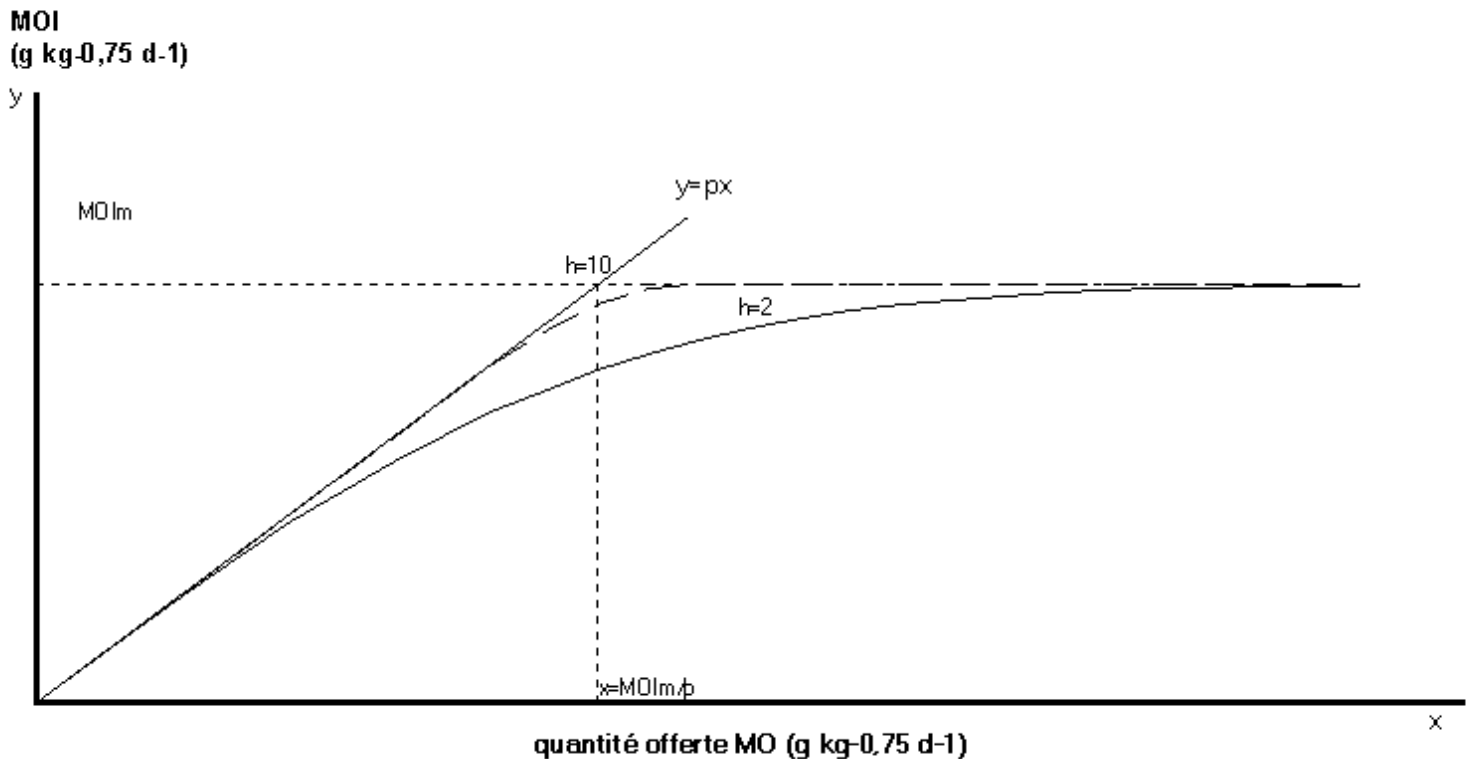


Figure 1. Relation entre la matière organique ingérée et offerte ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) (adapté de Zemmeling, 1980).

Le paramètre p est considéré comme une caractéristique du fourrage. Il sera déterminé pour le lot SUP 0 (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 (Zemmelink, 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'équation 2.

Les estimations de l'ingestion de MO des 4 niveaux de supplémentation (MOI_e) avec les mêmes niveaux d'offre sont utilisées pour établir l'interaction entre la ration de base et le supplément:

$$SUB = a + b * MOI_{tdc} + e_r \quad (\text{équation 3})$$

où SUB est la substitution MOI_{paille} par g MO tourteau ;
 MOI_{tdc} est l'ingestion MO tourteau de coton ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) ;
 e_r est l'erreur.

Le paramètre SUB correspond à l'augmentation ou la diminution de la quantité ingérée estimée (MOI_e) de la paille par gramme de tourteau de coton 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 tourteau de coton:

$$MOI_s = MOI_e + SUB * MOI_{tdc} \quad (\text{équation 4})$$

où MOI_s est l'ingestion MO paille de mil supplémentée ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)
 MOI_e est l'ingestion de MO paille de mil (lot témoin) ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)
 SUB est la substitution MOI_{paille} par g MO tourteau
 MOI_{tdc} est l'ingestion MO tourteau de coton ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)

2.4. La digestibilité de la matière organique

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

$$DMO_i \% = (MOID_i / MOI_{totale,i}) * 100\% \quad (\text{équation 5})$$

où $MOID_i = (MOI_{totale,i} - MO_{fèces,i}) / MOI_{totale,i}$ ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)
 DMO_i est le pourcentage de digestibilité de la matière organique de l'animal i
 $MOID_i$ est la matière organique ingérée digestible de l'animal i ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)
 $MOI_{totale,i}$ est la matière organique ingérée totale de l'animal i ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)
 $MO_{fèces,i}$ est la matière organique fèces de l'animal i ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)

Pour permettre d'estimer la digestibilité indépendamment d'un certain niveau du supplément, la DMO est analysée en fonction de la fraction de tourteau de coton dans l'ingestion totale (FSUP) et le pourcentage de refus (REFUS) en utilisant le modèle de régression multiple suivant:

$$DMO_e \% = a + b \text{ FSUP}_i + c \text{ REFUS}_i + e_r \quad (\text{équation 6})$$

où DMO_e % est le pourcentage de la digestibilité de la matière organique
 $\text{FSUP} = MOI_{tdc} / (MOI_{tdc} + MOI_{pdm})$
 $\text{REFUS} = (QO_{pdm} - MOI_{pdm}) / QO_{pdm} * 100\%$
 e_r est l'erreur

Le pourcentage de refus est utilisé comme mesure pour la quantité offerte. Si la quantité offerte est élevée on suppose que l'animal sélectionne surtout les feuilles avec une digestibilité supérieure à celle des tiges.

2.5. L'estimation de la matière organique ingérée digestible.

A l'aide des équations 2 (MOI_e) et 6 (DMO_e) on estime l'ingestion de la matière organique digestible (MOID) (en g kg^{-0,75} d⁻¹) selon la relation:

$$\text{MOID}_e = \text{MOI}_e * \text{DMO}_e * 0,01 \quad (\text{équation 7})$$

Pour tous les niveaux de supplément on peut ainsi estimer la MOID.

2.6. L'ingestion de feuilles

Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle, l'animal sélectionne surtout les composantes les plus digestibles de la plante quand le niveau d'offre est élevée (cf aussi 2.4), on pourra mesurer l'ingestion de feuille en fonction de la quantité offerte (ou refus). A cause d'un manque de disponibilité de main d'oeuvre la séparation des composantes de la plante du refus n'était pas possible. Dans ce cas on essaie de l'estimer par une méthode indirecte c'est-à-dire à travers le rapport tige/feuille, la teneur en cellulose brute, ADF, ADL et NDF de la tige et de la feuille et de la détermination de l'ingestion de ces composantes de la plante.

L'équation suivante de la régression linéaire a été utilisée pour indiquer la relation entre le pourcentage de feuille ingérée (fFEU) et le pourcentage de refus de la paille de mil (REFUS):

$$\text{fFEU} = a + b \text{ REFUS}\% + e_r \quad (\text{équation 8})$$

$$\text{où fFEU} = (\text{MSI}_{\text{feuille}} / \text{MSI}_{\text{paille}}) * 100\%$$

$$\text{REFUS} = (\text{QO}_{\text{pdm}} - \text{MOI}_{\text{pdm}}) / \text{QO}_{\text{pdm}} * 100\%$$

e_r est l'erreur

2.7. Gain moyen quotidien

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

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

$$\text{où GMQ est le gain moyen quotidien (g kg}^{-0,75}\text{)}$$

$$\text{MOID est la matière organique digestible ingérée (g kg}^{-0,75}\text{ d}^{-1}\text{)}$$

e_r est l'erreur

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

2.8. L'analyse statistique

Les données de base sont analysées avec les logiciels statistiques GENSTAT (régression non-linéaire, 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 distribuée et la composition chimique de la paille de mil et du tourteau de coton figurent au Tableau 2.

Tableau 2. Rapport tige/feuille/épi de la paille de mil, composition chimique des composants de la ration (en g/kg MS).

plante	Paille de mil			Tourteau de coton
	tige	feuille (a)	épi	
rapport (%)	67 (9)	31 (4)	2 (1)	
MO 926 (9)	940 (7)	861 (20)	911 (21)	933 (2)
N 6 (1)	4 (0)	7 (1)	12 (1)	59 (2)
CB 412 (b)	435 (15)	365 (12)	310 (9)	
NDF 831 (b)	872 (14)	748 (2)	763 (16)	
ADF 520 (b)	561 (11)	441 (22)	392 (37)	
ADL 102 (b)	117 (6)	71 (7)	68 (3)	

entre parenthèses: écart-type ; (a) y compris gaines de feuille ; (b) = selon rapport tige/feuille/épi

La paille de mil a un taux bas en azote ($6,1 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$). La différence en qualité des différentes composantes de la plante est très nette: les feuilles contiennent par exemple $6,6 \text{ g N kg}^{-1} \text{ MS}$ et les tiges $4,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$.

3.2. Ingestion de la matière organique

L'ingestion moyenne de la matière organique du tourteau de coton ($\text{g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) et les paramètres du modèle non linéaire qui forment la relation entre la quantité offerte et l'ingestion, sont présentées au Tableau 3. Cette relation est aussi illustrée par la Figure 2.

La paille de mil est acceptable à 100% par l'animal ($p=1$). L'ingestion maximale de la paille de mil (MOI_m) est estimée à 55,5, 57,3, 47,3 et 38,8 $\text{g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$, respectivement, pour les lots SUP0, SUP1, SUP2 et SUP3. Il faut signaler que les courbes n'atteignent pas leur maximum dans la gamme des observations, mais les différences sont petites. Ces ingestions maximales sont atteintes avec des niveaux de refus fourrager supérieurs à 50% (Figure 3) ; cependant les différences entre l'ingestion estimée et l'ingestion maximale à partir de 40% de refus sont négligeables pour les 4 lots. Néanmoins, il ressort qu'avec des niveaux de refus de 10 à 20% les ingestions maximales ne sont pas encore atteintes. Ces niveaux de refus fourrager sont souvent recommandés comme standard dans des essais de l'ingestion fourragère.

Tableau 3. Ingestion moyenne MO du tourteau de coton ($\text{g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$) et l'estimation des paramètres MOI_m ($\text{g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$), h et p de l'équation 2.

	Tourteau coton MOI	Paille de mil MOI_m	h	p	rsd(1)
SUP 0	0	55,5 (1,8)	2,78 (1,81)	1,0	4,2
SUP 1	8,9 (0,0)	57,3 (3,1)	2,47 (0,76)	1,0	6,5
SUP 2	21,4 (0,1)	47,3 (1,9)	2,65 (0,76)	1,0	5,0
SUP 3	34,5 (0,2)	38,8 (2,7)	1,96 (0,47)	1,0	3,7

entre parenthèses: erreur standard ; (1) rsd= écart-type résiduelle ($\text{g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$)

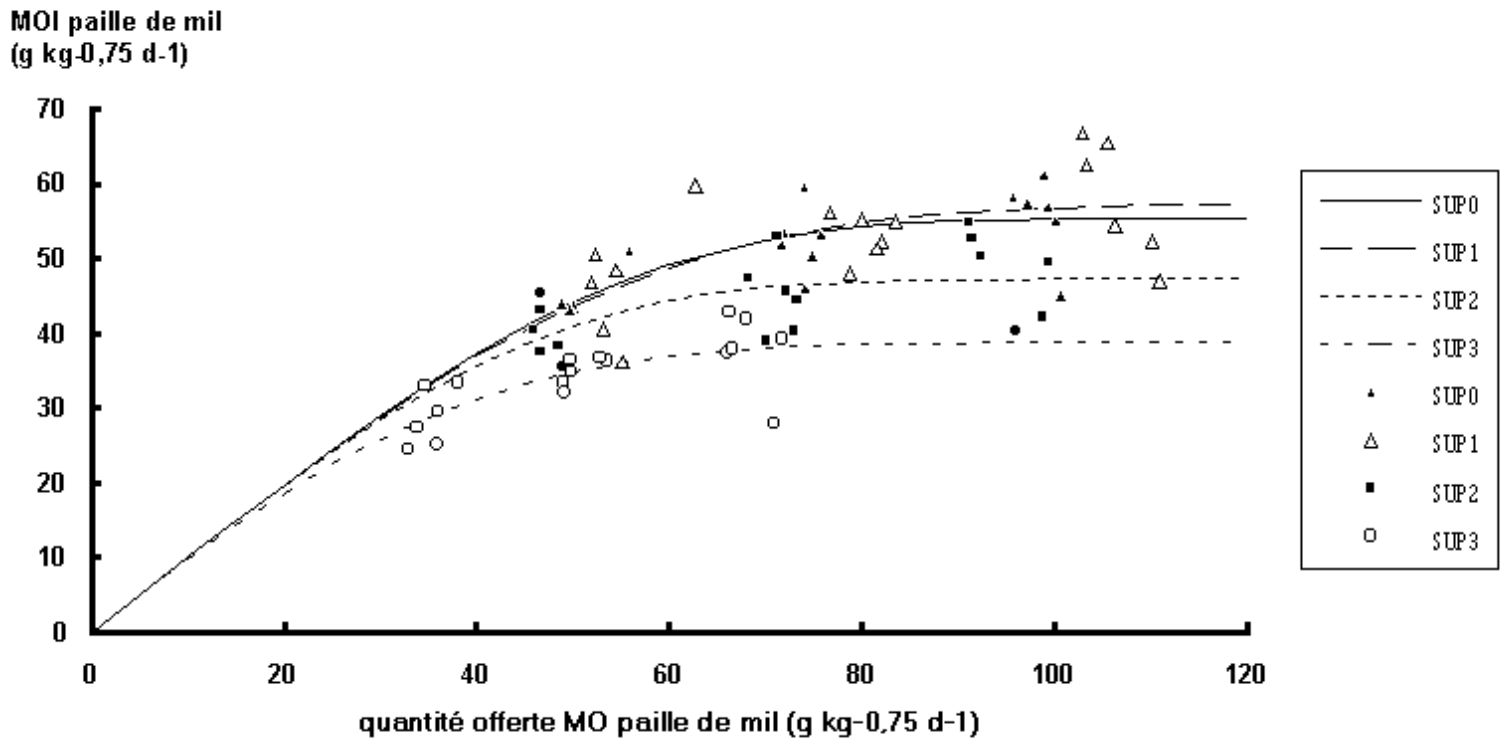


Figure 2. Evolution de l'ingestion de la matière organique (MOI) ($\text{g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$) en fonction de la quantité offerte (QO) de la paille de mil ($\text{g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$).

Sur la base des teneurs en NDF, ADF, NDL et CB dans la quantité offerte et dans le refus de la paille de mil on a estimé l'ingestion moyenne de feuilles. Dans le Tableau 4 on présente les estimations des paramètres de régression linéaire du pourcentage de feuille ingérée sur le pourcentage de refus de la paille (cf équation 8).

La supplémentation de la paille de mil avec le tourteau de coton n'a pas un effet significatif sur la sélection de feuille de la paille ($P < 0,05$). Aussi la quantité offerte de la paille (refus) joue un rôle faible sur la sélectivité, comme montrée dans le Tableau 5. Ce tableau présente l'estimation de MOI de paille de mil (équation 2) et l'ingestion relative de feuille dans 2 situations d'offre ($QO = MOI_m$ et $QO = 2 \times MOI_m$). L'ingestion relative de feuille est définie comme le rapport:

$MOI_{\text{feuille}} / MOI_{\text{feuille sans sélection}}$. Le dernier paramètre est calculé comme $MOI * \% \text{ feuille plante}$.

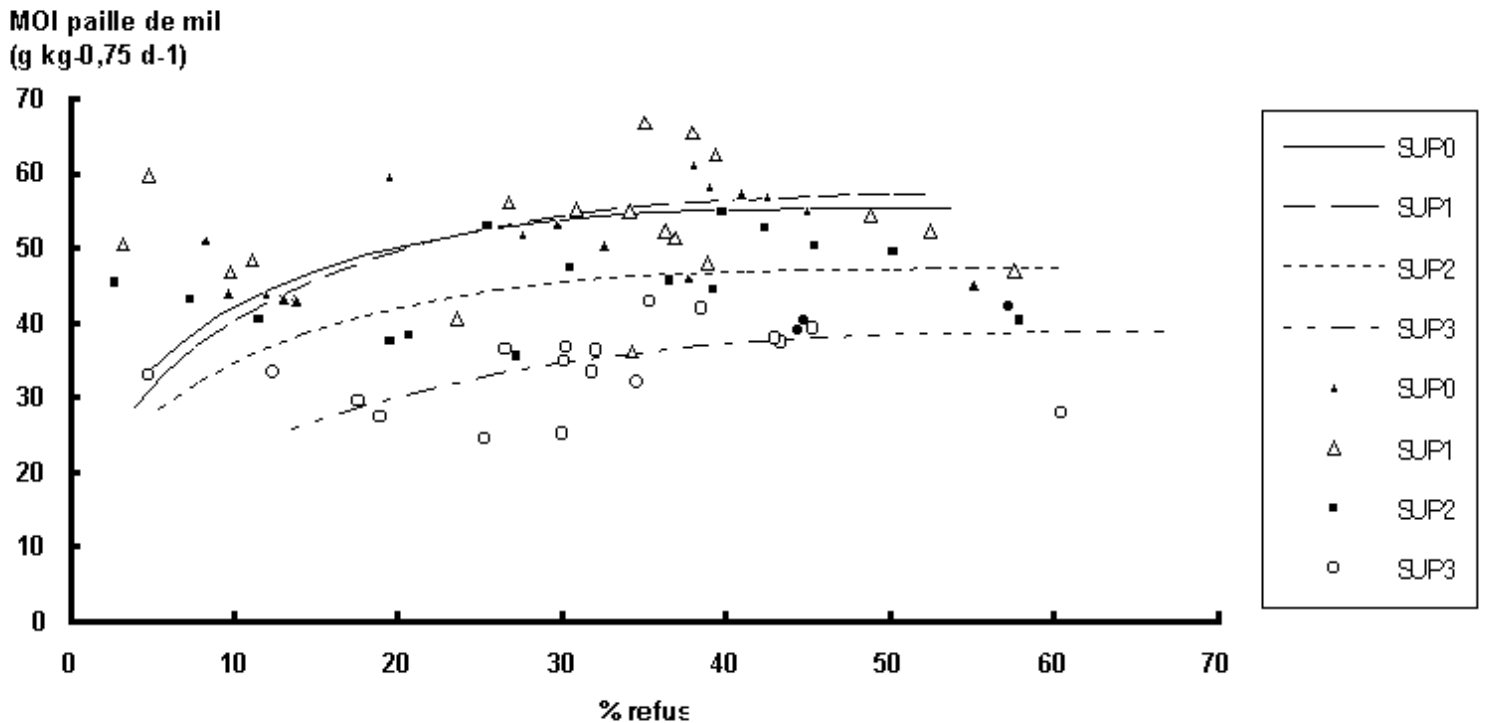


Figure 3. Evolution de l'ingestion de la matière organique (MOI) ($\text{g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$) en fonction du pourcentage de refus de la paille de mil.

Tableau 4. Coefficients de régression linéaire (ingestion de feuille).

Modèle: $\text{fFEU} = \text{a} + \text{b REFUS}\%$:	a	b	r^2	rsd
SUP0	30,5	0,26	0,23	7,0
SUP1	33,7	0,16	0,24	4,6
SUP2	32,5	0,18	0,27	5,0
SUP3	29,2	0,23	0,18	6,8
moyen	31,6	0,20	0,21	6,2

Avec un niveau d'offre de la paille de mil relativement restreint, c'est-à-dire égale à l'ingestion maximale ($\text{QO} = \text{MOI}_m$), les animaux consomment 85, 83, 84 et 79%, respectivement, de l'offre pour les lots SUP 0, SUP 1, SUP 2 et SUP 3. Avec un tel niveau d'offre l'augmentation de l'ingestion de feuille n'est que de 2 à 10%. Cependant, avec un niveau d'offre plus élevé de la paille ($\text{QO} = 2 \times \text{MOI}_m$), lequel correspond à 50% de refus, cette sélection augmente de l'ordre de 31% pour le lot SUP0.

L'effet de la supplémentation du tourteau de coton sur l'ingestion de la paille de mil est illustré par la Figure 4. Les estimations des coefficients de la régression linéaire de la substitution de la paille de mil sur l'ingestion du tourteau de coton (équation 3) sont présentées dans Tableau 6.

Tableau 5. L'ingestion estimée et fraction MO ingérée de la paille de mil ($\text{MO g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$) et l'ingestion relative de feuille avec deux niveaux d'offre.

	QO	MOI _e	fraction	Ingestion relative feuille
<i>QO=MOI_m:</i>				
SUP0	55,5	47,1	0,85	1,04
SUP1	57,3	47,6	0,83	1,10
SUP2	47,3	39,8	0,84	1,06
SUP3	38,8	30,7	0,79	1,02
<i>QO=2*MOI_m:</i>				
SUP0	110,9	55,4	0,50	1,31
SUP1	114,5	55,4	0,50	1,25
SUP2	94,6	47,2	0,50	1,24
SUP3	77,6	38,4	0,51	1,22

Tableau 6. Coefficients de régression linéaire (substitution).

Modèle: SUB = a + b MOI _{tdc} + e _r :	a	b	r ²
	0,152	-0,016	0,69

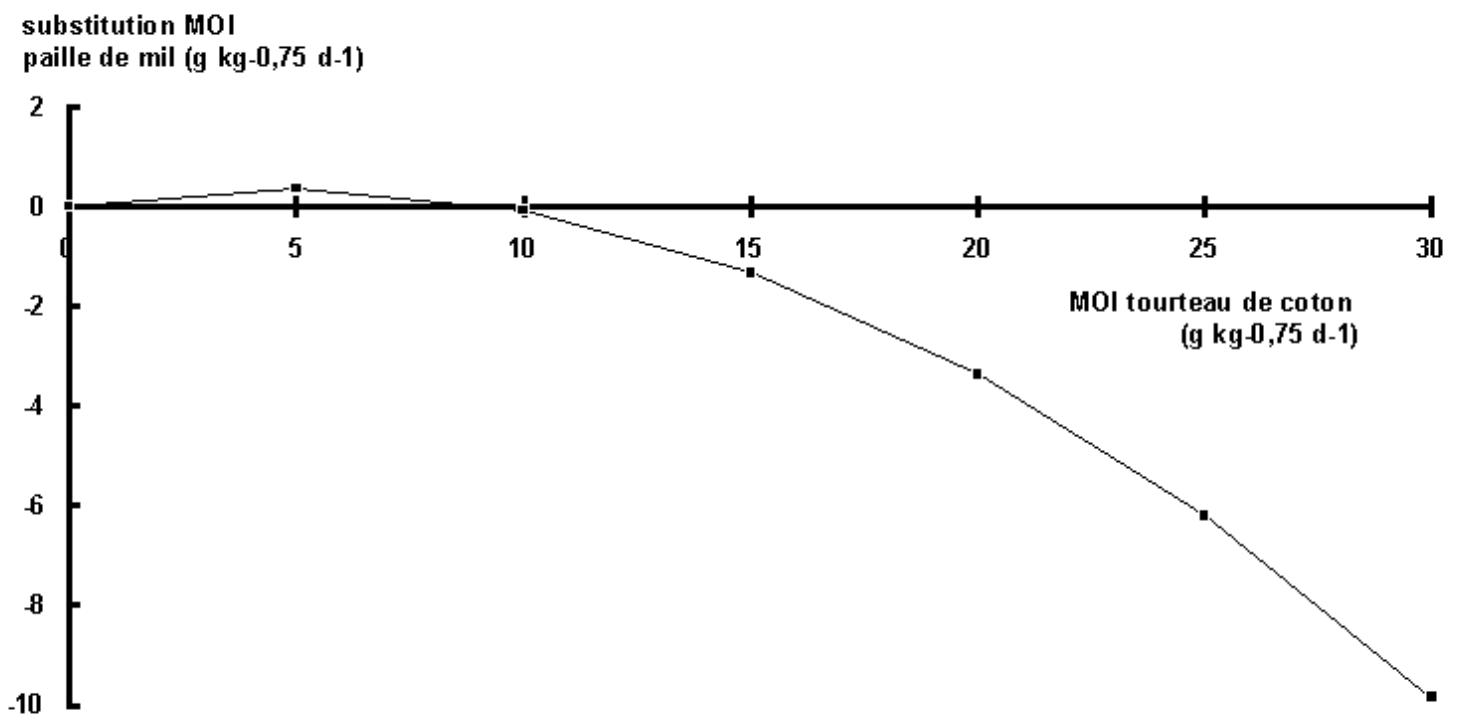


Figure 4. Substitution de l'ingestion de la paille de mil par l'ingestion de tourteau de coton.
 (Sub-MOI_{pdm} = (0,152-0,016MOI_{tdc}) * <MOI_{tdc})

La Figure 4 montre que l'ingestion de la paille de mil diminue à partir des niveaux d'ingestion de tourteau de coton de 10 g kg^{-0,75} d⁻¹ (l'effet de substitution). Cet effet est indépendant (P<0,05) de la quantité offerte de la paille (ou du

pourcentage de refus). Des petites quantités de tourteau de coton causent une stimulation de l'ingestion de la paille de mil ; cet effet on a déjà observé en comparaisant l'ingestion maximale de MO de SUP0 avec celle de SUP1 (Figure 2).

3.3. Digestibilité de la matière organique

La digestibilité de la matière organique (DMO %) a été estimée en fonction de la fraction de tourteau dans l'ingestion totale et le pourcentage de refus (comme mesure pour la quantité offerte) en équation 6. Le Tableau 7 donne l'estimation des coefficients de cette régression multiple.

Tableau 7. Paramètres de régression multiple (DMO).

modèle : $DMO_i \% = a + b \text{ FSUP}_i + c \text{ REFUS}_i + e_r :$	a	b	c	r^2	rsd
	51,3	14,3	0,07	0,43	3,5

rsd = écart type résiduelle

Il ressort que le pourcentage de refus fourrager (et par conséquent la quantité offerte de la paille de mil) a un effet significatif sur la digestibilité de la matière organique ($P < 0,001$) : 0,07 unités par pourcentage refus. Ceci est encore une autre indication de la sélection par l'animal.

Dans l'[Annexe](#) on présente la relation entre les valeurs observées et estimées de la digestibilité de la MO et de l'ingestion de MOD. Il semble que le modèle surestime le DMO avec les valeurs basses observées de digestibilité. Le contraire, c'est-à-dire une sous-estimation de la DMO, est observée avec des valeurs élevées observées de digestibilité.

3.4. Ingestion de la matière organique digestible

L'estimation de la MO ingérée (3.2) et la digestibilité (3.3) permettent d'estimer l'ingestion de la matière organique digestible (MOID). L'[Annexe](#) montre que, bien qu'il y ait des écarts dans le modèle de régression de la DMO, l'ingestion de cette MOD est estimée de manière assez précise.

Le Tableau 8 présente la MOID de différents lots pour deux niveaux d'offre de la paille de mil ($QO = MOI_m$ et $QO = 2 * MOI_m$, respectivement).

Tableau 8. L'estimation de la digestibilité de la matière organique (DMO %) et l'ingestion de la matière organique digestible (MOID) ($g \text{ kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$).

	QO	MOI _e	% refus	DMO%	MOID	%
<i>QO = MOI_m</i>						
SUP0	55,5	47,1	15	52,4	24,7	100
SUP1	57,3	47,6	17	54,7	31,0	126
SUP2	47,3	39,8	16	57,4	35,1	142
SUP3	38,8	30,7	21	60,4	39,4	160
<i>QO = 2 * MOI_m</i>						
SUP0	110,9	55,4	50	55,0	30,5	123
SUP1	114,5	55,4	50	56,9	37,6	152
SUP2	94,6	47,2	50	59,4	40,8	165
SUP3	77,6	38,4	51	61,7	45,0	182

En doublant le niveau d'offre de la paille on augmente la digestibilité de la matière organique (DMO %) avec 2,6 unités (de 52,4% à 55,0%). Grâce à l'augmentation de la DMO % et de l'ingestion de MO, l'effet de la quantité offerte sur l'ingestion de la matière organique digestible (MOID) est frappant : une augmentation de 23% pour le lot SUP0.

La supplémentation a un grand effet sur l'ingestion de MOD. Avec le niveau d'offre élevé la MOID du lot SUP3 est de $45 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$, ce qui correspond à un niveau d'ingestion bien supérieur au niveau d'entretien. Les animaux de ce lot ont montré un gain moyen quotidien de 449 g, comme illustré par le Tableau 9.

Tableau 9. Poids vif moyen (kg), niveau moyen d'alimentation observé et pourcentage moyen de refus, gain moyen quotidien (GMQ) (g).

LOT	poids vif moyen (kg)	QO paille de mil ($\text{g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$)	refus (%)	GMQ (g)
SUP0	199	74,3	28	- 23a
SUP1	204	80,6	32	219b
SUP2	223	71,1	35	311b
SUP3	216	51,4	31	449c

différentes lettres : significatif $P < 0,05$

Le GMQ des différents lots varie entre -23 et 449 g ; entre les lots SUP1 et SUP2 on n'observe pas une différence significative ($P < 0,05$). La régression linéaire du gain moyen quotidien (GMQ) sur l'ingestion de la MOD donne les coefficients suivants :

Tableau 10. Coefficients de régression linéaire (GMQ).

Modèle : $\text{GMQ} = a + b \text{ MOID} + e_r$:	a	b	r^2
	- 15,9	0,55	0,66

Il ressort de cette relation, que dans le cas du $\text{GMQ} = 0$ (ce qui correspond au niveau d'entretien) l'ingestion de la MOD (MOIDe) est estimée à $28,9 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$. Le besoin de MOD par gramme gain par $\text{kg}^{0,75}$ est de $1,8 \text{ g kg}^{-0,75} \text{ d}^{-1}$.

Il est évident qu'un niveau limitatif d'offre de la paille de mil ne suffira pas pour satisfaire les besoins d'entretien de l'animal (Tableau 8).

3.5. Stratégies fourragères

Sur la base de l'analyse de l'ingestion de la MOD de la paille de mil en fonction de celle du tourteau (3.2 et 3.4) il est possible de développer des courbes d'isoproduction, comme présenté dans la Figure 5. Les courbes reflètent toutes les combinaisons possibles de paille de mil et tourteau pour atteindre un certain niveau de production (exprimé en fonction du niveau d'entretien).

tourteau de coton (MO)
(g kg^{-0,75} d⁻¹)

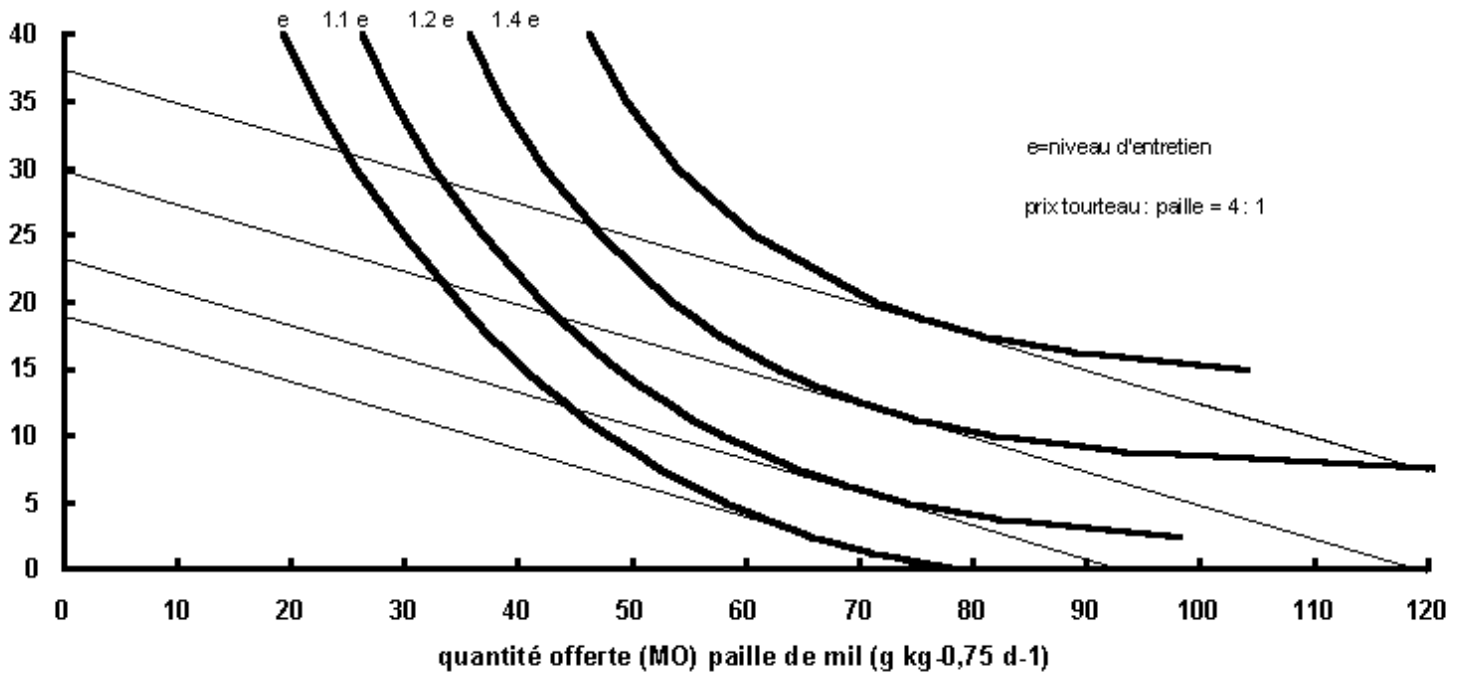


Figure 5. Courbes d'isoproduction de paille de mil - tourteau de coton.

Il est évident qu'il faut une supplémentation surtout quand l'objectif de production est celle de la viande ou du lait. Grâce à l'hétérogénéité de la paille et la sélection de ces composantes les plus digestibles par l'animal on peut économiser l'utilisation du tourteau aux dépens de la paille, comme illustré dans le Tableau 11.

Tableau 11. Stratégies fourragères pour deux niveaux de production d'un animal de 200 de poids vif.

niveau de production :	entretien			1,4 d'entretien		
	10%	29%	diff	10%	29%	diff
refus %						
paille de mil (MS kg tête ⁻¹ d ⁻¹)	2,6	4,5	-1,9	2,7	4,3	-1,6
tourteau de coton (MS kg tête ⁻¹ d ⁻¹)	0,641	0	0,641	2,280	1,069	1,211
coût de la ration (FCFA)	45	52	7	86	118	32
<i>ration la plus rentable :</i>						
paille de mil (MS kg tête ⁻¹ d ⁻¹)	3,9			4,4		
refus %	23			33		
tourteau de coton (MS kg tête ⁻¹ d ⁻¹)	0,114			1,026		
coût de la ration (FCFA)	44			85		

prix paille : 10 FCFA kg⁻¹ MS ; tourteau: 40 FCFA kg⁻¹ MS

Pour couvrir le besoin d'entretien d'un animal de 200 kg de PV avec un niveau d'offre limitatif (10% refus fourrager) de la paille de mil le besoin par jour de tourteau est de 0,641 kg MS ; on pourrait économiser cette quantité du tourteau aux dépens de 1,9 kg MS de paille de mil ; cependant, le pourcentage de refus de la paille de mil dans ce cas

augmentera jusqu'à 29%.

En supposant un prix de 10 FCFA et 40 FCFA par kg MS pour la paille de mil et le tourteau de coton, respectivement, on trouve néanmoins que pour cette situation il est plus rentable de choisir un niveau d'offre limitatif de la paille : le coût des deux rations varie de 45 à 52 FCFA d⁻¹. Pour le niveau de production 1,4 d'entretien [1] l'écart entre le coût des rations est plus grand, c'est-à-dire 32 FCFA.

Il est évident que la rentabilité dépendra du rapport de prix 'tourteau/paille'. Avec l'aide des courbes d'isoproduction de la Figure 5 on peut déterminer les rations les moins chères. Pour chaque niveau de production la combinaison la plus rentable est déterminée par le point d'intersection de la courbe avec la tangente, qui est déterminé par le rapport de prix 'tourteau/paille'. Pour un animal de 200 kg de PV et au niveau d'entretien la combinaison la plus rentable se compose de 3,9 kg de paille de mil et 0,114 kg de tourteau avec un coût de 44 FCFA animal⁻¹ d⁻¹.

4. Discussion et conclusion

L'hétérogénéité en qualité de la tige de mil (paille) influence beaucoup l'ingestion et la digestibilité de la matière organique par les jeunes taurillons. L'animal sélectionne mais la préférence de l'animal pour les feuilles de la paille de mil n'est pas tellement claire. Avec des niveaux d'offre limitatifs de la paille l'augmentation de la sélection de feuille est médiocre. Seulement des niveaux d'offre élevés montrent une sélection de feuille plus grande. D'un côté cela peut être liée à la méthode indirecte de calcul, à travers l'ingestion de CB, ADL, ADF et NDF, pour déterminer l'ingestion de tiges (l'échantillonnage quantité offerte et refus et la fiabilité de l'analyse chimique !). D'un autre côté la paille de mil était hachée (20 cm) pour faciliter la distribution, ce qui diminue aussi la possibilité de sélection. Powell (1984) a trouvé que l'ingestion des feuilles était en moyenne 81% et des tiges 47% par des bovins, pâturant aux champs de mil pendant 8 semaines après la récolte.

L'ingestion maximale de la MO est atteinte avec des niveaux d'offre de paille de mil très élevés. La digestibilité de la matière organique de la ration dépend de la quantité offerte (ou le pourcentage de refus) de la paille de mil et le niveau de supplémentation. Comme Zemelink (1980) l'a déjà indiqué, la valeur des fourrages hétérogènes est très difficile à déterminer. Dans la littérature beaucoup de résultats des essais d'ingestion fourragère avec ce type de fourrages sont difficilement comparables entre-eux parce qu'on ne connaît pas l'ingestion maximale ; le niveau d'alimentation est souvent limité à 110 - 120% du niveau '*ad libitum*' (10 - 20% refus). La mention des niveaux d'offre est une condition primaire pour pouvoir vraiment comparer les différents essais.

L'effet du tourteau de coton sur l'ingestion de la matière organique digestible est très net. Pour le lot SUP3 on a trouvé une augmentation de 60% dans l'ingestion moyenne de la MOD. Cependant, l'effet de la quantité offerte de la paille sur la digestibilité et l'ingestion de la MOD joue aussi un rôle : grâce à l'hétérogénéité de la paille il y a plusieurs combinaisons de paille de mil - tourteau pour différents niveaux de production. Il ne faut pas oublier, cependant, que ces niveaux de production restent toujours restreints : la qualité de la paille de mil est faible. Sur la base des prix et du rapport de prix 'tourteau/paille' (disponibilité, coûts de transport, etc.) ces courbes d'isoproduction donnent la possibilité de calculer pour certains niveaux de production désirables la combinaison la plus rentable de paille et tourteau.

L'élaboration des stratégies fourragères sera valable surtout dans le système mixte de l'agriculture - élevage. Il y a un consensus général selon lequel pour ce système de production la chance de devenir plus durable est liée à une meilleure interaction entre l'agriculture et l'élevage (Kaasschieter *et al.*, 1992). Comme options techniques une meilleure utilisation des ressources fourragères disponibles (résidus de récolte) et une utilisation économique des intrants, comme les concentrés, sont mentionnées. Les animaux seront de plus en plus en stabulation (fumier !) et les résidus de récoltes transportés à la ferme. Ce transport de paille impliquera une exportation d'éléments nutritifs des champs, laquelle devra être compensée par le retour de fumier organique aux champs.

En supposant que le niveau de prix est tel qu'il est rentable d'avoir des refus fourragères élevés de la paille de mil, le paysan doit être bien formé pour adopter cette stratégie. Il ne faut pas oublier l'effet psychologique sur le paysan s'il doit << jeter >> plus de 50% de la paille. Cependant, dans l'analyse économique il ne faut pas oublier la valeur restant du refus ; la paille peut être utilisée pour l'amélioration du fumier (parc à bétail), une technique déjà testée au niveau paysan (de Vries, communication personnelle). Avec une telle utilisation de la paille de mil et du tourteau de coton,

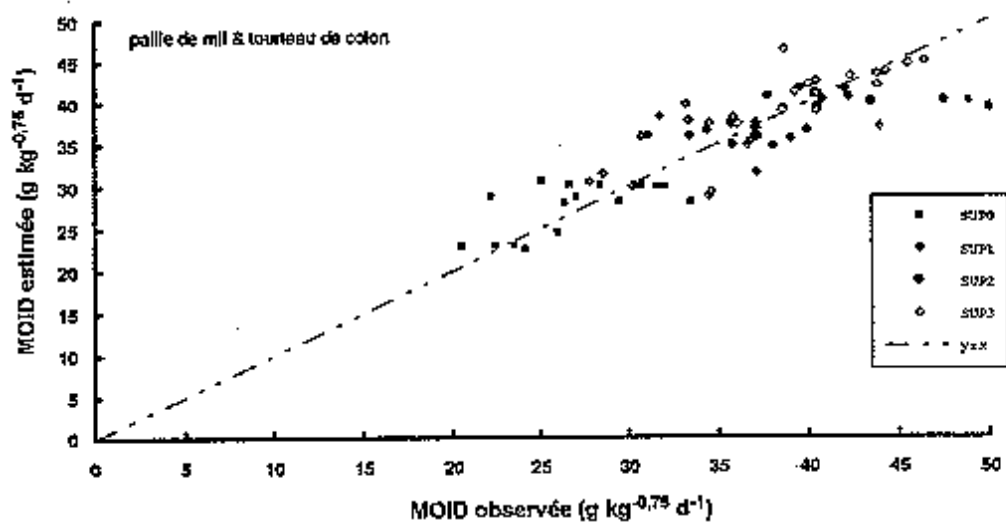
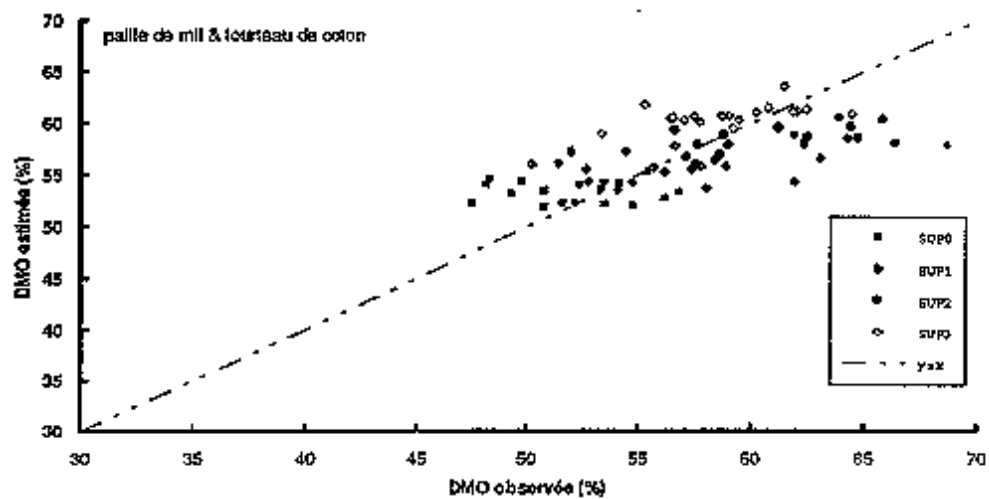
comme intrant externe, une option technique pour l'amélioration de la production animale dans ce système de production (l'activité mil - bovins) est définie. Cependant, la mesure de durabilité de ce système de production aussi dépendra des facteurs socio-économiques. A ce moment une analyse économique partielle de la production de mil est en cours (Camara *et al.*, 1993). Le modèle de programmation linéaire à buts multiples de l'Equipe Modélisation des Systèmes du PSS devra aussi montrer entre autres la faisabilité économique de cette option technique (EMS, 1992).

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, Wageningen.
- Camara O, M. Toure, E.J. Bakker, W. Quak & K. Sissoko, 1993. Définition, description et analyse économique partielle des activités de production de mil en Zone Soudano-Sahélienne. Rapport de recherche PSS. En préparation.
- EMS, 1992. Plan de recherche 1992 de l'Equipe Modélisation des Systèmes du PSS, PSS, Niono.
- 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.
- Kaasschieter G.A., R. de Jong, J.B. Schiere & D. Zwart, 1992. Towards a sustainable livestock production in developing countries and the importance of animal health strategy therein. *Veterinary Quarterly* 13 : 66-75.
- Kané M., 1993. Effets de supplémentation avec tourteau de coton et de quantité distribuée de la paille de mil sur la quantité et la digestibilité de la matière organique ingérée. Mémoire de DEA - ISFRA, Bamako.
- Ketelaars J.J.M.H & B.J. Tolcamp, 1991. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants. Thesis, Agricultural University Wageningen, 254 pp.
- Penning de Vries F.W.T & M.A. Djitèye (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 stiver consumption by livestock in the Subhumid Zone of Nigeria. *Trop. Agric. (Trinidad)* 62 : 77-81.
- Vries de J., 1992. Projet PLEA, Koutiala. Communication personnel.
- 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.* 1990, 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.

Annexe

Annexe



[1] Le niveau '1,4 d'entretien' correspond à une ingestion de MOD de $40 \text{ g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$; cela veut dire que le gain moyen quotidien s'estime à 323 g en partant d'un besoin de MOD par gramme gain par $\text{kg}^{0,75}$ de $1.82 \text{ g kg}^{-0,75} \text{d}^{-1}$.