

Rapports PSS N° 27

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

Projet de coopération scientifique

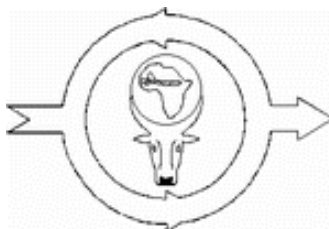
Description quantitative des systèmes de production animale en zone soudano-sahélienne

E.J. Bakker, H. Hengsdijk & J.J.M.H. Ketelaars, AB-DLO ¹⁾

sous la direction de
H. Breman, chef du programme PSS, AB-DLO ¹⁾

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

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



P S S

Rapports PSS N° 27

Wageningen, 1996

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 27

Table des matières

- [Préface](#)
- [1. Introduction](#)
 - [1.1. Les objectifs du rapport](#)
 - [1.2. Le rôle des activités animales et les critères de définition](#)
 - [1.3. Structure du rapport](#)
- [2. Les exigences fourragères en matière de qualité et de quantité](#)
 - [2.1. Introduction](#)
 - [2.1.1. Niveau d'ingestion énergétique danimaux en croissance, non-lactants et non-gestants](#)
 - [2.1.2. Ingestion énergétique des animaux gestants et lactants](#)
 - [2.1.3. Fertilité](#)
 - [2.1.4. Mortalité](#)
 - [2.2. Structure du troupeau et stratégie de vente](#)
 - [2.3. Extrants](#)

- [2.4. Intrants](#)
- [3. Fourniture de matière organique digestible](#)
- [Littérature](#)

« La recherche présentée dans cette publication a été financée par le Ministère néerlandais de la coopération au développement. Toute référence à ce travail est encouragée. De courts extraits peuvent être traduits et/ou reproduits sans permission préalable des auteurs, à condition que leur source soit indiquée. Pour ce qui est de la traduction ou de la reproduction totale, la section DST/SO du Ministère ci-dessus mentionnée doit être notifiée à l'avance (Boîte postale 20061, 2500 EB, La Haye). La responsabilité du contenu de cette publication revient entièrement aux auteurs et les opinions exprimées ne sont pas forcément celles du Ministère néerlandais de la coopération au développement ».

Préface

L'un des objectifs majeurs du projet soudano-sahélienne (PSS) est de contribuer au développement de systèmes de production végétale et animale durables et rentables en zone soudano-sahélienne, la zone comprise entre les isohyètes des 300 et 900 mm an⁻¹ en Afrique de l'Ouest. Dans cette zone, les deux types de production sont très fortement liées. La production d'herbes, de feuilles, de fruits et de tiges des pâturages, les cultures fourragères, les résidus de récolte et des produits agro-industriels servent d'aliments pour le bétail, tandis que le fumier et la traction animale, les sous-produits animaux, sont utilisées dans l'agriculture. En plus, l'élevage est un moyen d'épargne souvent employé par les cultivateurs pour assurer l'approvisionnement alimentaire ou pour pouvoir financer des investissements.

Dans la zone soudano-sahélienne, les terres cultivées et les pâturages sont caractérisés par des rendements bas, du fait surtout de la médiocre fertilité du sol ([Penning de Vries et Djitéye, 1982](#) ; van Keulen et Breman, 1990) à laquelle vient s'ajouter une grande variabilité pluviométrique (Vierich et Stoop, 1990). La pauvreté des sols est aggravée par une forte croissance démographique qui entraîne une surexploitation des terres et la dégradation des ressources naturelles, entravant encore plus le potentiel de production rurale. Sur les terres cultivées, les périodes de jachère sont écourtées, tandis que les quantités de fumure organique et d'engrais chimiques épandues ne suffisent pas pour restaurer la fertilité du sol (van de Pol, 1992). Les pâturages sont surexploités, causant l'érosion, la perte d'espèces pérennes et la diminution du nombre d'arbres. L'élevage souffre également d'une basse productivité, le problème clé étant le manque de fourrage de bonne qualité, notamment dans la saison sèche ([Penning de Vries et Djitéye, 1982](#)).

D'un point de vue technique, ces problèmes peuvent être résolus. Van Keulen et Breman (1990) montrent qu'une productivité agricole plus élevée peut être atteinte par l'apport d'éléments nutritifs, notamment l'azote et le phosphore, pourvu que le bilan de matière organique ne s'en trouve pas déséquilibré. Un apport d'éléments nutritifs augmenterait aussi la durabilité des systèmes de production végétale. Comme la quantité de fumure organique ne suffit pas pour équilibrer le bilan des éléments nutritifs, une utilisation accrue d'engrais chimiques semble être la condition *sine qua non* d'un développement agricole durable.

En élevage, une productivité plus élevée est liée à une utilisation plus importante des suppléments alimentaires (résidus de récolte, cultures fourragères, produits agro-industriels) parallèlement à une diminution de la pression sur les parcours naturels. Cette option nécessite cependant une production plus élevée de suppléments. Ainsi, l'élevage pourrait également profiter de l'apport des éléments nutritifs que ce soit directement au travers de son utilisation pour les cultures fourragères, les banques fourragères et les pâturages améliorées, ou indirectement, au travers de son utilisation pour des cultures vivrières et des cultures de rente, ce qui mènerait à une augmentation en quantité et en qualité (teneur en éléments nutritifs plus élevé) de la production de résidus de récolte.

A l'heure actuelle, les solutions indiquées ne sont pas appliquées à une grande échelle, surtout à cause des frais impliqués, ce qui fait ressortir la nécessité d'analyser non seulement les aspects techniques ou agro-écologiques, mais aussi les aspects (socio-) économiques. Il s'agit notamment des facteurs pouvant stimuler une production agricole plus élevée, comme des prix rémunérateurs des produits principaux, l'accès aux marchés (infrastructure), la disponibilité et les prix bas des intrants (notamment des engrais chimiques). Au sein du projet PSS, c'est l'Equipe Modélisation des Systèmes qui a été chargé de cette

tâche. L'équipe s'est fixée pour objectif d'analyser, d'une manière intégrée, les différentes options techniques (qui varient selon la zone agro-climatologique) et les conditions socio-économiques, en tenant compte de la disponibilité des ressources, des exigences de durabilité, des relations entre l'agriculture et l'élevage et des objectifs de développement de la région. La méthodologie permettant une telle analyse est la programmation linéaire à buts multiples.

1. Introduction

1.1. Les objectifs du rapport

Les objectifs spécifiques de l'équipe modélisation des systèmes (EMS) sont :

- Etudier la rentabilité économique de l'utilisation des intrants (azotés et phosphatés) dans l'intensification de l'agriculture et de l'élevage en zone soudano-sahélienne, en identifiant les options ou innovations techniques susceptibles de rentabiliser l'utilisation directe ou indirecte de ces intrants.
- Analyser les conditions socio-économiques permettant de favoriser une rentabilisation de l'utilisation des intrants.
- Analyser et vérifier la fiabilité et la faisabilité des options techniques rentables au niveau petite région et au niveau ferme.

La méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs de recherche utilise le modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples (PLBM) comme instrument d'analyse économique des systèmes de production à différents niveaux :

- Grande région (zone soudano-sahélienne)
- Petite région (cas du cercle de Koutiala)
- Ferme (typique dans le cercle de Koutiala).

Le Modèle de Programmation Linéaire à Buts Multiples est un instrument qui permet :

- d'une part, d'analyser et de dégager, au niveau des activités agro-pastorales, les différentes options techniques pour lesquelles une rentabilisation de l'utilisation des intrants azotés et phosphatés est possible et
- d'autre part, de définir en fonction des conditions socio-économiques et agro-écologiques, des stratégies de développement (ou combinaisons optimales d'activités) au niveau macro-économique (nation, région, petite région : cercle) et micro-économique (ferme), permettant une utilisation optimale des ressources disponibles pour la production agricole et animale. En effet, au niveau d'un pays ou d'une région, il existe toujours un conflit entre la multitude d'objectifs de développement rural par rapport à l'allocation des ressources naturelles.

Les pièces maîtresses de ce modèle PLBM sont des activités (cultures, pâturages et élevage) définies et décrites qui seront incluses et analysées avec ce modèle PLBM. Ces activités sont fonction des ressources naturelles de base, c'est-à-dire que ce sont les conditions d'environnements prévalantes qui déterminent, dans une large mesure, les activités à réaliser et dans quelles conditions. Finalement, le modèle PLBM déterminera les combinaisons optimales d'activités en fonction des ressources disponibles et des objectifs de développement. Les différentes étapes de la méthodologie générale de recherche de l'EMS est décrit au tableau 1.1.

1.1. Les différentes étapes de la méthodologie générale de recherche de l'EMS.

Etapes:	Objectifs :	Résultats:
Ressources	description des : - ressources naturelles - ressources humaines	caractérisation quantitative : - types de sols - climat - population et main d'oeuvre
Activités	définition et description: - culture - élevage	caractérisation quantitative : - agro-écologique - socio-économique

- pâturage

Modélisation élaboration du modèle PLBM:

- au niveau de la région soudano-sahélienne
- au niveau du cercle de Koutiala
- au niveau de la ferme

- environnement

exploration quantitative des options :

- en matière de possibilités de développement
- en matière de contraintes au développement
- les coûts d'opportunités d'un objectif politique en termes d'autres

Ce rapport décrit la procédure de quantification des activités animales pour le modèle PLBM. Il explique quels coefficients ont été dérivés et comment, et justifie de même les hypothèses formulées sur ces activités dans la région soudano-sahélienne.

Un modèle baptisé "Générateur de coefficients techniques" (GCT) a été élaboré, dans le cadre du projet PSS, dans le but de "générer" les coefficients techniques pour le modèle PLBM. Le GCT a été programmé dans Excel 4.0 (Microsoft, 1992). Il inclut divers modules permettant la quantification des cultures, du bétail, de la pâture, ainsi que des activités de transformation et de transport ([Quak et al., 1996](#)). La génération de certains coefficients techniques s'appuie sur des hypothèses brutes, l'absence de connaissances sur les processus sous-jacents ne permettant pas de définir une base plus solide pour la quantification de certains coefficients techniques. La méthode appliquée pour générer les coefficients techniques est une combinaison de données scientifiques et de connaissances expérimentales. Ce dernier aspect peut être considéré comme étant le point faible du générateur, vu le caractère arbitraires des hypothèses formulées. Des efforts sont faits pour quantifier ces connaissances généralement tout à fait valables d'un point de vue qualitatif. Le GCT permet cependant aux utilisateurs potentiels du modèle d'ajuster les paramètres et les données de bases pour y introduire les données quantitatives qui seraient obtenues par la suite.

1.2. Le rôle des activités animales et les critères de définition

L'intégration des systèmes de culture et d'élevage a été identifiée comme l'un des éléments clés du développement agricole dans la région soudano-sahélienne du Mali (Breman, 1990). Une intégration des deux activités peut avoir des répercussions bénéfiques sur l'une et sur l'autre de ces activités. L'activité de culture peut produire des fourrages de meilleure qualité (par ex. le niébé) ou des résidus de récolte (paille) qui peuvent être investis dans les activités d'élevage pour accroître la production de viande et de lait, tandis que le fumier peut être appliqué sur les terres cultivables pour en améliorer le taux de matière organique et la teneur en éléments nutritifs. L'interaction entre intrants et extrants, dans les deux systèmes de production, est illustré de manière sommaire par la figure 1.1. Les deux systèmes sont en compétition pour les mêmes ressources de base (terre, eau, main d'oeuvre et capital) et leurs productions finales sont destinées à satisfaire des objectifs nationaux ou individuels (grains, coton, viande et lait). Les sous-produits de l'un (résidus de récolte ou fumier) sont exploités comme intrants dans l'autre.

Figure 1.1. Diagramme relationnel des activités de culture et d'élevage, en ce qui concerne la compétition pour les mêmes ressources et l'interaction aux travers des sous-produits.

Tandis que les activités culturelles sont quantifiées dans [Quak et al. \(1996\)](#), ce rapport décrit la manière dont les intrants et les extrants des activités animales sont dérivés. Une activité animale est définie par une combinaison d'intrants (fourrage, exigences de main-d'oeuvre et coûts financiers) et d'extrants (lait, viande et traction). Quatre espèces animales sont distinguées : bovine, asine, caprine et ovine. Deux types d'activités bovines ont été définies : celles relative à la reproduction du troupeau, c'est à dire l'élevage d'un troupeau composé de mâles, de femelles et de veaux. Ces activités d'élevage poursuivent des objectifs mixtes, l'accent étant mis sur la production de poids vif (viande), de lait, ou de traction animale, avec le fumier comme sous-produit. Un autre type sont les activités d'embouche pour la production intensive de viande. Les deux types d'activités sont interalliés, en ce sens que les animaux superflus des troupeaux peuvent être utilisés pour l'embouche. Un schéma des intrants et extrants, ainsi que des interrelations entre les deux types d'activités est présenté à la figure 1.2. Les fourrages sont réparties en 8 catégories de qualité (q1 à q8) et, pour les activités d'élevage de troupeau, en 2 saisons. Les extrants produits par ces activités sont la viande et le fumier pour les deux types, le lait et la traction dans l'élevage de troupeau, et les animaux d'embouche.

Figure 1.2. Intrants et extrants des activités d'élevage.

Pour chaque type d'animal, quatre niveaux de production sont distingués, en fonction du niveau d'ingestion volontaire de la matière organique digestible. Le tableau 1.2. résume les critères de définition et les variables applicables à chacun de ces critères. En théorie, chaque variable peut être combinée à une variable d'un autre critère. En pratique cependant, certaines combinaisons sont irréalisables ou n'ont pas été prises en compte. Comme décrit au paragraphe précédent, les activités d'embouche produisent exclusivement de la viande et ne poursuivent aucun autre objectif de production.

Tableau 1.2. Critères et variables des activités animales.

Type d'animal	Niveau de production	Objectif de production
Bovins (troupeau)	extensif	lait
Bovins (embouche)	semi-extensif	viande
Chèvres	semi-intensif	traction
Moutons	intensif	
Ânes		

1.3. Structure du rapport

Les chapitres suivants décrivent en détail la procédure utilisée pour quantifier les intrants et les extrants des activités l'élevage de troupeau. Les intrants et extrants applicables aux autres espèces animales sont dérivés de la même procédure et ne sont donc pas abordés. Les activités l'élevage de troupeau sont de loin les activités d'activités animales les plus importantes dans le modèle PLBM.

De même que pour la définition des activités culturelles ([Quak et al., 1996](#)), une approche dite "ciblée" est appliquées : tout d'abord, la production (extrait) est déterminée en se basant sur les caractéristiques fourragères et animales, puis les exigences (intrants) en termes de quantité et de qualité fourragères pour réaliser cette production.

La quantification des activités d'élevage des bovins se base sur deux critères : (i) la définition de la qualité de la quantité de fourrage requis pour une activité d'élevage spécifique, et (ii) la description du fourrage disponible en fonction de leur qualité. Le chapitre 2 explique comment la qualité du fourrage et sa quantité sont dérivés, y compris les intrants et les extrants des activités animales. Le chapitre 3 aborde la dérivation de la disponibilité fourragère en terme de qualité.

2. Les exigences fourragères en matière de qualité et de quantité

2.1. Introduction

La productivité des animaux est déterminée par le montant d'énergie disponible pour l'entretien, la croissance et la production animale. Une mesure appropriée de l'énergie disponible est la quantité de matière organique digestible ingérée, étant donné que la teneur énergétique de 1 kg de matière organique digestible ainsi que l'utilisation par l'animal diffèrent peu (tout au moins dans le cas d'un apport de fourrage illimité, Tolcamp et Ketelaars, 1994) En divisant la matière organique digestible ingérée par l'animal par les besoins d'entretien de ce dernier, également en termes de matière organique digestible, on obtient de qu'on appelle *le niveau d'ingestion énergétique*. Ce paramètre varie entre moins 1 et plus 1 chez les animaux en croissance, et sa valeur est rarement supérieure à 2,5 - 3. Pour un animal individuel, l'ingestion énergétique dépend du fourrage et des caractéristiques de l'espèce à laquelle il appartient. Les caractéristiques fourragères, telles que la digestibilité et la teneur en azote influencent la quantité de fourrage ingéré volontairement et déterminent par conséquent l'ingestion énergétique. Pour un animal d'un poids et d'un âge physiologique spécifiques, le niveau d'ingestion énergétique peut être considéré comme une caractéristique fourragère (pour un apport fourragère illimité). Vu que cette caractéristique est généralement mesurée dans des expériences fourragères conduites avec des animaux relativement jeunes, on a supposé, dans cette étude, que le niveau d'ingestion énergétique mesuré est également applicable aux femelles adultes de 180 kg, i.e. à l'âge du premier vêlage. Au-

dessus et en dessous de ce poids, le niveau d'ingestion énergétique a généralement été dévié de niveaux déterminés dans des expériences de nutrition traditionnelles. Pour effectuer les corrections applicables à l'évaluation d'autres cas, il faut disposer de données sur la relation entre l'âge ou le poids, et le niveau d'ingestion énergétique.

2.1.1. Niveau d'ingestion énergétique danimaux en croissance, non-lactants et non-gestants

Lorsque des animaux en croissance sont alimentés avec le même type de fourrage, l'ingestion énergétique est élevée au départ mais décroît au fur et à mesure que l'animal prend du poids. Dans sa jeunesse, un animal absorbera un fourrage d'une qualité supérieure à celle requise pour son seul entretien : le niveau d'ingestion énergétique est supérieur à 1. Plus l'animal gagne en poids, plus ce niveau décroît pour donner, lorsque l'animal aura obtenu son poids final, un niveau d'ingestion énergétique égale au niveau d'entretien : le niveau d'ingestion énergétique est alors 1.

La relation empirique entre l'âge et l'ingestion énergétique appliquée dans cette étude est dérivée des courbes de croissance relevée pour le bétail au Sahel. La figure 2.1 indique les données applicables aux animaux femelles de la Station du Sahel de Niono (CIPEA, 1978) et aux animaux d'un troupeau transhumant du village de Diafarabe (Wagenaar *et al*, 1986). Les animaux de la Station du Sahel croissent plus rapidement que les animaux en transhumance étant donné les conditions alimentaires, en moyenne, meilleures des premiers. Les poids mesurés ont été utilisés pour dériver une courbe de croissance :

$$W(t) = WP - (WP - WB) * e^{-v * t} \quad (2.1)$$

où :

t = âge (an)

$W(t)$ = Poids à l'âge t (kg)

WP = Poids potentiel de la femelle adulte (kg)

WB = Poids du veau (kg)

v = Taux de croissance relatif (an^{-1})

*Figure 2.1. Courbes de croissance des animaux femelles au Sahel, à différents niveaux d'ingestion énergétique. Données de la Station du Sahel à Niono, Mali (CIPEA, 1978) et d'un troupeau transhumant à Diafarabe (Wagenaar *et al.*, 1986). Les niveaux d'ingestion énergétique correspondent à l'ingestion énergétique estimée, en tant que fraction des besoins d'entretien des animaux d'un poids de 180 kg.*

Pour $t = 0$ (= naissance) $W(t)$ égale WB , tandis qu'à des âges plus élevés $W(t)$ approche WA . Le taux relatif de croissance v est estimé à 0,18 pour les animaux mâles et à 0,30 pour les animaux femelles pour les deux troupeaux. En se basant sur les courbes de croissance de la figure 2.1, le poids potentiel des animaux femelles à la Station du Sahel est estimé à 440 kg contre 250 kg pour un animal transhumant. Partant des mêmes données, l'équation permettant d'estimer le poids potentiel des animaux mâles est :

$$WM = 1,6 * WP \quad (2.2)$$

où :

WM = Poids potentiel de l'animal mâle adulte (kg)

Le poids des veaux est également influencé par le niveau d'ingestion énergétique d'un troupeau. Etant donné le manque d'informations détaillées, cette variation est estimée par les équations (2.3) et (2.4):

$$WFC = 11,5 + 0,02 * WP \quad (2.3)$$

$$WMC = 1,05 * WFC \quad (2.4)$$

où :

WFC = Poids du veau femelle (kg)

WMC = Poids du veau mâle (kg)

L'énergie absorbée par l'animal pour atteindre une certaine courbe de croissance est dérivée des besoins d'entretien et de croissance. Concernant les besoins d'entretien, on applique l'équation développée par ARC (1980) pour évaluer la production de chaleur à jeun liée au poids de l'animal :

$$\mathbf{FHP = 0,53 * W^{0,67} \quad (2.5)}$$

où :

FHP = Production de chaleur à jeun (MJ jour⁻¹)

W = Poids (kg)

La production de chaleur à jeun est synonyme d'énergie nette. On estime que la matière organique digestible contient 19,33 MK kg⁻¹ et que 50 % de l'énergie digestible peut être utilisée comme énergie nette. Les besoins d'entretien sont par conséquent calculés par l'équation :

$$\mathbf{EM = (0,53 / (19,33/2)) * W^{0,67} \quad (2.6)}$$

où :

EM = Les besoins en énergie pour l'entretien (kg de matière organique digestible jour⁻¹)

Les besoins énergétiques pour la croissance sont basés sur la teneur énergétique du poids métabolique ([Breman & de Ridder, 1991](#)). La seule différence dans l'approche appliquée par ces auteurs est, qu'au lieu de deux relations linéaires, une relation exponentielle continue est applicable aux poids situés entre 0 et 400 kg ; la teneur en énergie du corps est déterminé par la relation :

$$\mathbf{EW = 2,415 * W^{1,311} \quad (2.7)}$$

où :

EW = Teneur en énergie (MJ)

La teneur en énergie est la quantité d'énergie nette qu'un animal fixe pendant sa croissance. Pour chaque gain de poids, la quantité requise d'énergie nette peut être dérivée en assumant que la matière organique digestible comprend 19,33 MJ kg⁻¹ et que 50 % de l'énergie digestible est utilisée comme énergie nette. Voir aussi la [section 2.4](#).

Sur la base des informations obtenue sur les besoins énergétique d'entretien et de croissance pour un poids de 180 kg, le niveau d'ingestion énergétique du bétail de la Station du Sahel peut être maintenant estimé à 1,20. Le niveau d'ingestion énergétique des animaux transhumants est d'environ 1,05 ce qui signifie que ce dernier type d'animal (pour un poids de 180 kg) consacre 5 % de son ingestion énergétique totale à la croissance.

Le niveau d'ingestion énergétique estimé n'a pas seulement un effet positif sur le gain de poids mais aussi sur les taux de reproduction (voir [paragraphe 2.1.3](#)) et de mortalité (voir [paragraphe 2.1.4](#)). Une autre variable de poids importante est le gain de poids moyen de l'animal femelle dans sa deuxième année. Il existe une forte corrélation entre, d'une part, le gain de poids dans la seconde année et, d'autre part, la fertilité et la production de lait. Cette relation est discutée au paragraphe 2.1.3 et à la section 2.3 respectivement.

Le tableau 2.1 résume les poids des adultes et des veaux, ainsi que le gain de poids des femelles dans leur deuxième année, pour quatre niveau d'ingestion énergétique. Les poids calculés des femelles adultes ont été arrondis aux 5 kg près.

Tableau 2.1. Poids des adultes et des veaux, et gain de poids des femelles dans leur seconde année, pour quatre niveaux d'ingestion énergétique.

âge	sexe	Niveau d'ingestion énergétique			
		1,05	1,1	1,15	1,2
adulte	femelle	245	310	375	440
	mâle	392	496	600	704
veau	femelle	16,4	17,7	19,0	20,3
	mâle	17,2	18,6	20,6	21,3
1- 2 ans	femelle	44	56	68	80

2.1.2. Ingestion énergétique des animaux gestants et lactants

Une énergie supplémentaire est nécessaire pour la production de lait et pour la gestation. L'ingestion énergétique totale des animaux en gestation et en lactation est supérieure (dans des conditions de nutrition identiques) à celle dérivée au paragraphe 2.1.1. Il est supposé que, sur une base annuelle, une énergie additionnelle est requise et qu'elle doit venir s'ajouter à l'ingestion énergétique déterminée (voir paragraphe précédent).

Pour la gestation, le besoin en énergie est déterminé par la formule (2.7), assumant que la gestation est égale à la croissance d'un veau non encore né (voir aussi le [paragraphe 2.4](#)). Cette approche sous-estime l'énergie requise parce que les besoins d'entretien du fœtus n'ont pas été pris en compte.

Pour la production de lait, l'énergie requise est déterminée par la quantité de lait produite et par la teneur en énergie du lait. La production de lait est basée sur l'approche de [Bremner & de Ridder \(1991\)](#) et corrélée au gain de poids des animaux femelles dans leur seconde année (voir [paragraphe 2.3](#)).

2.1.3. Fertilité

L'âge de la première conception est corrélé au poids de l'animal ([Bremner & de Ridder, 1991](#)) et varie selon les espèces en fonction de leur taille. Wagenaar *et al.* (1986) ont étudié cette relation pour les zébus du Mali et estimé un poids minimum pour les génisses au moment de la première conception, situé entre 180 et 190 kg. L'âge auquel ce poids est atteint dépend des conditions d'alimentation et peut être déterminé par l'équation (2.1).

Le premier vêlage est égal à l'âge de la première conception, plus la période de gestation de 9 mois. L'intervalle entre vêlages dépend du niveau d'ingestion énergétique et peut varier entre 12 et 24 mois. [Bremner & De Ridder \(1991\)](#) ont rassemblé les données de la littérature sur le Sahel indiquant une relation entre le gain de poids des animaux femelles dans leur seconde années et les intervalles de vêlage (voir aussi la [figure 2.2](#)) :

$$CI = 13,7 + 165,3 * e^{-0,07796 * GW2} \quad (2.8)$$

où :

CI = Intervalle de vêlage (mois)

GW2 = Gain de poids dans la deuxième année (kg)

Figure 2.2. Relation entre le gain de poids des animaux femelles dans leur seconde année et l'intervalle de vêlage dans le même troupeau. Données recueillis par [Bremner & de Ridder \(1991\)](#).

Le taux de fertilité est défini comme étant la fraction de veaux né par femelle, par année, y compris les avortements et les jeunes mort-nés. Le calcul est effectué par l'équation suivante (2.9) :

$$FR = 12 / CI \quad (2.9)$$

où :

FR = Taux de fertilité

L'âge à la première conception, au premier vêlage, le poids au premier vêlage, l'intervalle entre deux périodes de vêlage et le taux de fertilité pour quatre niveau d'ingestion énergétique sont présentés au tableau 2.2.

Tableau 2.2. Age de la première conception, âge au premier vêlage, poids au premier vêlage, intervalle entre deux périodes de vêlage et taux de fertilité, pour quatre niveaux d'ingestion énergétique.

Variable	Niveau d'ingestion énergétique			
	1,05	1,1	1,15	1,2
Age à la première conception (mois)	57	36	26	21
Age au premier vêlage (mois)	66	45	35	30
Poids au premier vêlage (kg)	201	214	227	240
Intervalle de vêlage (mois)	19,1	15,8	14,5	14
Taux de fertilité (%)	63	76	83	86

2.1.4. Mortalité

Les taux de mortalité sont basés sur les données de Van Duivenbooden *et al.* (1991) et de Wilson (1986). Van Duivenbooden *et al.* (1991) définissent les taux de mortalité pour trois groupes d'âge : 0-1 an, 1-2 an et plus de 2 ans. Les taux de mortalité appliqués pour ces trois groupes sont basés sur Wilson (1986) qui présente des taux plus élevés que Van Duivenbooden *et al.*, en fonction de la situation alimentaire. De plus, les taux d'avortement sont explicitement définis.

Wilson (1986) présente les taux de mortalité des animaux (0-4 ans) de 37,3 and 26,3 % pour des systèmes d'élevage utilisant, respectivement, la paille de mil et celle de riz. Les taux d'avortement (3,3 %) n'ont pas été inclus dans ces données. Wagenaar *et al.* (1988) ont trouvé un taux d'avortement de 8 % et des taux de mortalité pour les trois groupes d'âge de 34, 6 et 4-8 % respectivement.

Les taux d'avortement et de mortalité, en fonction du niveau d'ingestion énergétique utilisé dans cette étude sont indiqués au tableau 2.3.

Tableau 2.3. Taux de mortalité et d'avortement, en tant que fonction du niveau d'ingestion énergétique.

Variable	Niveau d'ingestion énergétique			
	1,05	1,1	1,15	1,2
Taux d'avortement (%)	5	4	3	2
Mortalité 0-1 an (%)	24	20	15	12
Mortalité 1-2 ans (%)	11	10	9	7
Mortalité > 2 ans (%)	5	4	3	2

Mortalité 0-3 ans (%)	39	33	27	22
-----------------------	----	----	----	----

2.2. Structure du troupeau et stratégie de vente

Le point de départ de la modélisation de la structure du troupeau est l'hypothèse qu'il s'agit d'un système d'élevage en équilibre, c'est à dire, un système dans lequel les intrants et les extrants sont identiques d'une année sur l'autre. Pour modéliser la structure du troupeau, une distinction est faite entre les animaux mâles et femelles. De plus, 11 catégories d'âges ont été définies : 0-1 an, 1-2 ans, etc., jusqu'aux 10-11 ans. Il est supposé que l'âge maximum auquel les animaux sont vendus est 11 ans. Pour régler la structure du troupeau, il convient de définir des stratégies de vente. Dans le modèle, une stratégie de vente représente l'âge auquel les mâles, les femelles reproductrices et les autres sont vendus. Si la stratégie de vente des animaux mâles est la 2 par exemple, tous les animaux mâles sont supposés être vendus à l'âge de deux ans exactement. Vu que, dans un troupeau, la fonction de reproduction peut être assurée par un seul animal masculin, tous les animaux mâles sont supposés superflus et, par conséquent, vendus. Le tableau 2.4 illustre la procédure pour un troupeau d'un niveau d'ingestion énergétique de 1,1, les femelles reproductrices étant vendues à l'âge de 11 ans, les femelles non reproductrices à l'âge de 2 ans et les animaux mâles à 5 ans.

Le point de départ du calcul de la structure du troupeau est le nombre (hypothétique) de femelles reproductrices dans la catégorie d'âge des 11 ans, qui est fixé à 100 dans l'exemple du tableau 2.4. Cette valeur n'affecte pas les résultats finaux, parce qu'en ce qui concerne la structure du troupeau, les autres valeurs sont proportionnelles. Pour obtenir 100 femelles dans la catégorie d'âge choisie ($t=11$), $100 / (1-0,04) = 104,1$ animaux femelles doivent atteindre tous les ans cette catégorie d'âge ($t=10$), prenant en compte un taux de mortalité de 4 % (voir tableau 2.3). Dans termes plus généraux, l'équation suivante permet de déterminer le nombre de femelles atteignant l'âge t :

$$NF_t = NF_{t+1} / (1 - MR_t) \quad t=0, \dots, SFR-1 \quad (2.10)$$

où :

NF_t = Nombre de femelles atteignant l'âge t

MR_t = Taux de mortalité des animaux de la catégorie d'âge t

SFR = Âge de vente des femelles reproductrices (an)

Il s'ensuit que le nombre de veaux nés vivants tous les ans dans chaque catégorie d'âge peut être calculé. Par catégories d'âges, après le premier vêlage, l'équation suivante est appliquée :

$$NC_t = NF_t * (1 - 0,5 * MR_t) * FR * (1 - AR) \quad t=0, \dots, SFR-1 \quad (2.11)$$

où :

NC_t = Nombre de veaux vivants produits annuellement par les femelles

reproductrices de la catégorie d'âge t

NF_t = Nombre de femelles atteignant l'âge t

MR_t = Taux de mortalité

FR = Taux de fertilité

AR = Taux d'avortement

L'âge du premier vêlage est égal à l'âge de la première conception, plus la période de gestation. Voir aussi le [paragraphe 2.1.3](#).

L'élément ' $nf_t * (1 - 0,5 * MR_t)$ ' de l'équation 2.11 quantifie le nombre moyen de femelles dans une catégorie d'âge spécifique.

Dans la catégorie d'âge du premier vêlage, le nombre de veaux calculé est multiplié par la fraction résultant de la différence

entre l'âge du premier vêlage et la catégorie d'âge suivante. Dans l'exemple du tableau 2.4, le premier vêlage a lieu à 45 mois, soit 3,75 ans. La différence avec la catégorie d'âge suivante ($t=4$) est de 0,25 ans par conséquent. Il est donc supposé que le taux de fertilité pour la catégorie d'âge ($t=3$) est 0,25 fois le taux de fertilité des catégories d'âge supérieures. Les catégories d'âge inférieures n'incluent par des animaux fertiles et, dans ces catégories, le nombre de veaux est par conséquent zéro.

Tableau 2.4. Illustration de la manière de déterminer la structure du troupeau. Le niveau d'ingestion énergétique est de 1,1, l'âge de vente est, respectivement de 11, 2 et 5 ans pour les femelles reproductrices adultes, les femelles non reproductrices et les animaux mâles.

Variable	Désignation dans le texte	Catégorie d'âge												total
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Taux de mortalité	MR	0,2	0,1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Nombre de femelles reproductrices	NF	201	160	144	139	133	128	123	118	113	109	104	100	1571
Nombre de veaux	NC	0	0	0	28	95	91	88	84	81	78	75	0	620
Nombre de mâles	NMS	310	248	223	214	206	197	0	0	0	0	0	0	1398
Nombre de femelles non reproductrices	NFS	109	87	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275
Nombre moyen de femelles dans le troupeau	ANF	279	235	142	136	130	125	120	115	111	106	102	0	1602
Nombre moyen de mâles dans le troupeau	ANM	279	235	219	210	201	0	0	0	0	0	0	0	1144
Nbre moyen de femelles par 1000 animaux	SNF	102	86	52	49	47	46	44	42	40	39	37	0	583
Nbre moyen de mâles par 1000 animaux	SNM	102	86	80	76	73	0	0	0	0	0	0	0	417

La moitié des veaux nés tous les ans rejoindra la première catégorie d'âge ($t=0$) des mâles ; dans l'exemple du tableau 2.4, ce sera un total de 310 veaux. Les veaux femelles sont divisés en un groupe requis pour le maintien du troupeau (201 dans la catégorie d'âge ($t=0$) dans ce cas) et un groupe de surplus (ou non reproducteur) pouvant être vendu (109 dans la catégorie d'âge ($t=0$)). Le nombre de mâles et de femelles en surplus dans les catégories d'âge suivantes est calculé en utilisant les taux de mortalité correspondantes jusqu'à ce que les animaux mâles et femelles aient atteint l'âge d'être vendu. Dès lors, les animaux en surplus sont vendus. Le nombre d'animaux en surplus atteignant les catégories d'âge suivantes ($t=0$) est quantifié à l'aide des équations suivantes :

$$NFS_t = NFS_{t-1} * (1 - MR_{t-1}) \quad t=1, \dots, SFS \quad (2.12)$$

$$NMS_t = NMS_{t-1} * (1 - MR_{t-1}) \quad t=1, \dots, SM \quad (2.13)$$

où :

NFS_t/NMS_t = Nombre d'animaux femelles / mâles en surplus, atteignant l'âge t tous les ans

SFS/SM = Âge de vente des femelles et mâles en surplus

En conséquence, le nombre de femelles et de mâles en surplus dans le troupeau est calculé par catégorie d'âge. Le nombre d'animaux dans une catégorie d'âge spécifique est le nombre moyen des animaux de cette catégorie d'âge (t) et ($t+1$). Pour la partie femelle du troupeau, les animaux reproducteurs et non reproducteurs sont pris en compte, tandis que pour la partie mâle

du troupeau, tous les animaux mâles sont considérés comme surplus, pour les raisons expliquées plus haut.

$$ANF_t = 0,5 * (NFS_t + NFS_{t+1}) + 0,5 * (Nf_t + NF_{t+1}) \quad t=0, \dots, SFR-1 \quad (2.14)$$

$$ANM_t = 0,5 * (NMS_t + NMS_{t+1}) \quad t=0, \dots, SM-1 \quad (2.15)$$

où :

ANF_t/ANM_t = Nombre moyen de femelles et de mâles de la catégorie d'âge t

Dans chaque catégorie d'âge, le nombre de femelles et de mâles est :

$$TNA_t = \sum_{t=0}^{SFR-1} (ANF_t + ANM_t) \quad (2.16)$$

où :

TNA_t = Nombre total d'animaux dans la catégorie t

Le calcul final de la structure du troupeau concerne la conversion de cette structure en un troupeau standard de 1000 animaux. Ceci est obtenu en divisant le nombre d'animaux de chaque sexe par le nombre total d'animaux dans chaque catégorie d'âge, multiplié par 1000 :

$$SNF_t = ANF_t * 1000 / TNA_t \quad t=0, \dots, SFR-1 \quad (2.17)$$

$$SNM_t = ANM_t * 1000 / TNA_t \quad t=0, \dots, SFR-1 \quad (2.18)$$

où :

SNF_t/SNM_t = Nombre de femelles / mâles dans un troupeau standard de 1000

animaux d'une catégorie d'âge t. Dans l'exemple du tableau 2.4, ce nombre est de 583 femelles et de 417 mâles.

Plusieurs combinaisons de stratégies de vente sont possibles pour les trois groupes d'animaux identifiés (femelles (non) reproductrices et mâles). Cependant, pour limiter le nombre d'activités dans le modèle PL, trois stratégies de vente seulement ont été définies pour les femelles non reproductrices et les mâles, ce qui représente trois objectifs de production de bétail : lait, viande et traction. Le tableau 2.5 résume les paramètres des stratégies de vente. De plus, les femelles reproductrices sont vendues à un âge fonction des niveaux d'ingestion énergétique, souvent plus élevés : à 7 ans pour les niveaux d'ingestion énergétique 1,2 et 1,15, 9 ans pour les niveau 1,1 et 11 ans pour le niveau 1,05. Sont résumés également, un total de 12 activités d'élevage (4 niveaux de production fois 3 objectifs de production).

Tableau 2.5. Stratégies de vente appliquées pour trois objectifs de production.

Objectif de production :	Âge de vente	
	Femelles non reproductrices	Mâles
Lait	1	1
Viande	2	3

2.3. Extrants

Quatre extrants ont été définis : la production de poids vif (viande), le lait, la traction et la fraction d'animaux d'embouche intensive dans le troupeau. Ce dernier extrant est utilisé comme intrant dans l'élevage destiné à la production intensive de viande (activité d'embouche). Sur la base de ces caractéristiques, on peut comparer les troupeaux en ce qui concerne les niveaux d'ingestion énergétique et les stratégies de vente des jeunes animaux.

Le poids vif produit annuellement par un troupeau est égal au poids total des animaux vendus. Le nombre d'animaux dans chaque groupe (femelles (non) reproductrices et mâles) pouvant être vendu peut être dérivé des équations décrites dans les paragraphes précédents. Un exemple de troupeau spécifique est présenté au tableau 2.4. Le poids moyen des animaux dans chaque groupe peut être déterminé grâce à l'équation (2.1) présentée au paragraphe 2.1.1. Ensuite, les poids moyens des animaux sont multipliés par le nombre d'animal standard de chaque groupe. La somme des poids vifs dans les trois groupes donne l'extrait poids vif total d'un troupeau bien défini. La procédure de calcul de l'extrait poids vif annuel du troupeau illustré au tableau 2.4, est présentée au tableau 2.6. Le gain, par animal, du poids vif non requis pour maintenir la structure du troupeau est égal à 37,2 kg par an. Ce poids est considéré comme étant l'extrait de poids vif de cette activité d'élevage spécifique. Quelque cinquante pour cent du poids vif peut être utilisé comme viande.

Tableau 2.6. Procédure de calcul de l'extrait poids vif d'un troupeau standard de 1000 animaux. Caractéristiques du troupeau selon le tableau 2.4.

	Nombre d'animaux (Table 2.4)	Nombre d'animaux/ 1000 animaux	Poids des animaux à la vente (kg)	Poids vif total (kg)	Poids vif par animal du troupeau (kg)
Femelles reproductrices	100	36	299	10771	10,8
Femelles non reproductrices	79	29	150	4350	4,4
Mâles	197	73	302	22046	22,0
Total		132		37167	37,2

La production de lait disponible pour la consommation humaine est dérivée de la quantité totale de lait produite moins la quantité requise pour la croissance des veaux. La production totale de lait dépend du niveau d'ingestion énergétique. Le gain de poids moyen des génisses dans la deuxième année est utilisé comme indicateur de l'ingestion énergétique (voir tableau 2.1), et sert ensuite à calculer la production de lait par période de lactation, sur la base de l'équation de régression ([Breman & de Ridder, 1991](#)) :

$$MP = 10 * GW2 + 300 \quad (2.19)$$

$$MC = MP - ML \quad (2.20)$$

où :

MP = Production totale de lait par femelle (kg)

MC = Production de lait par femelle, pour la consommation humaine (kg)

ML = Lait consommé par les veaux (= 500 kg)

Pour un gain de poids vif de 56 kg dans la deuxième année, à un niveau d'ingestion de 1.1, la production totale de lait est de 861 kg par période de lactation. Dans ce cas, la production de lait consommable est égale à 361 kg. La production de lait destiné à la

consommation humaine d'un troupeau est calculée par l'équation (2.21) :

$$MCT = MC * \sum_{t=0}^{SFR-1} (NFS + NMS) * (1 - 0,5 * MR_{t=0}) \quad (2.21)$$

où :

MCT = Production totale de lait d'un troupeau, pour la consommation humaine (kg)

MR_{t=0} = Taux de mortalité dans la catégorie d'âge (t=0)

La procédure utilisée pour déterminer la production de lait du troupeau présenté au tableau 2.4, est illustrée au tableau 2.7.

Tableau 2.7. Calcul de la production de lait du troupeau présenté au tableau 2.4.

Description de la variable	Symbole / équation	Valeur
Prod. de lait / femelle pour la consommation humaine (kg):	MC	386
Nombre total de veaux vivants dans le troupeau :	NC = [Sigma](NFS+NMS)	620
Taux de mortalité dans la catégorie d'âge (t=0) :	MR _{t=0}	0,2
Prod. de lait d'un troupeau, pour la cons. humaine (tonne) :	MCT= MC *NC *(1 - 0,5 *MR _{t=0})	215
Production de lait par animal (kg) :	MCT / [Sigma] (ANF + ANM)	78

La disponibilité de la *traction* est déterminée par la fraction de boeufs de trois ans au moins d'un troupeau. De plus, seuls les troupeaux dont le niveau d'ingestion énergétique est égal ou supérieur à 1,15 peuvent produire des animaux suffisamment puissants pour la traction. Dans l'exemple du tableau 2.4, les boeufs de la catégorie d'âge des 3 et 4 ans répondraient à ces exigences pour un niveau d'ingestion énergétique de 1,15 ou 1,2. La fraction d'animaux utilisables pour la traction serait dans ce cas de (76+73)/1000 = 0,15. Etant donné que les données du tableau 2.5 correspondent à un troupeau d'un niveau d'ingestion énergétique de 1,1, aucun animal n'est utilisable comme animal de traction. Il convient de noter que, tandis que l'objectif de production pour des niveaux d'ingestion énergétique inférieurs (1,05 et 1,10) peut être la traction (tableau 2.5), aucun animal de ces niveaux d'ingestion ne convient à la traction.

Les animaux en surplus vendus à l'âge de vente déterminé peuvent être utilisés pour des activités d'élevage visant une *production intensive de viande* (activités d'embouche). Les femelles adultes ne sont pas utilisées dans ce but. Six catégories d'embouche ont été définies comme extrants : (i) femelles et mâles d'un poids initial de 100 kg, (ii) femelles d'un poids initial de 200 kg, (iii) mâles d'un poids initial de 200 kg, (iv) femelles d'un poids initial de 300 kg, (v) mâles d'un poids initial de 300 kg, et (vi) mâles d'un poids initial de 400 kg. Le poids moyen des animaux en surplus peut être dérivé de l'équation (2.1). La fraction de mâles et femelles en surplus est répartie proportionnellement au poids des animaux en âge d'être vendu et pour les six catégories d'embouche. En ce qui concerne l'exemple des animaux en surplus du tableau 2.4, 50 % de la fraction de femelles en surplus (poids moyen de 150 kg, voir tableau 2.6) entrent dans la catégorie d'embouche (i), 50 % entrant dans la catégorie (ii). Pour ce qui est de la fraction de mâles en surplus (poids moyen de 302 kg, voir tableau 2.6), 98 % entrent dans la catégorie (v) et 2 % dans la catégorie d'embouche (vi).

La production de *fumier* est basée sur la fraction de matière organique non digestible de la ration alimentaire (chapitre 3). La fraction de matière organique non digestible est le supplément de la fraction digestible des catégories alimentaires, comme indiqué au tableau 3.1. On suppose que la partie non digestible des rations alimentaires est disponible comme MOST (voir aussi [Quak et al., 1996](#)). La quantité de fumier produit comme extrant dépend par conséquent de la ration alimentaire administrée pour une activité d'élevage spécifique dans le modèle PLBM. Les autres extrants des activités de troupeau sont présentés au tableau 2.8.

Tableau 2.8. Extrants des activités d'élevage de troupeau.

Niveau de production	Objectif de production	Poids vif (kg UBT ⁻¹)	Lait (kg UBT ⁻¹)	Fraction boeufs de labour	Fraction d'animaux destinés aux activités l'emboche dans les différentes catégories :					
					(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
1,05	lait	31	77	0	100	0	0	0	0	0
1,05	viande	36	69	0	9	-6 ^{*)}	98	0	0	0
1,05	traction	29	47	0	0	0	0	0	97	3
1,10	lait	51	149	0	100	0	0	0	0	0
1,10	viande	56	122	0	6	6	72	0	15	0
1,10	traction	39	71	0	17	0	0	0	14	69
1,15	lait	70	208	0	85	1	14	0	0	0
1,15	viande	73	161	0	2	10	33	0	54	0
1,15	traction	47	83	0,3	13	2	0	0	0	85
1,20	lait	80	261	0	67	7	26	0	0	0
1,20	viande	82	189	0	0	22	0	2	71	5
1,20	traction	50	91	0,3	20	8	0	0	0	72

*) signifie que la reproduction est trop faible pour assurer un surplus de femelles. En fait, les femelles doivent être achetées pour maintenir la taille du troupeau à un niveau stable.

2.4. Intrants

Les besoins alimentaires sont exprimés en termes de matière organique digestible (MOD). Ces besoins sont répartis en quatre catégories dont deux ne concernent que les animaux femelles : les besoins pour la période de "*gestation*" et de "*lactation*". Les deux autres catégories de besoins "*gain de poids*" et "*entretien*" concernent aussi bien les mâles que les femelles. Les équations permettant de calculer les besoins énergétiques d'entretien et de croissance sont décrites au paragraphe 2.1.1. Supposant une teneur en énergie de 19,33 MJ kg⁻¹ de MOD pouvant être utilisée pour couvrir 50 % de l'énergie nette, les besoins alimentaires moyens d'un animal, en terme de MOD, peuvent être déterminés.

Les besoins quotidiens de MOD pour l'*entretien* sont proportionnels au poids métabolique de l'animal (voir aussi le [paragraphe 2.1.1](#)). Les besoins d'entretien annuels des femelles et des mâles, dans chaque catégorie d'âge, sont déterminés à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{DOME} = 365 * (0,53 / (19,33 / 2)) * \text{AW}^{0,67} \quad (2.22)$$

où :

DOME = Matière organique digestible pour les besoins d'entretien (kg animal⁻¹ an⁻¹)

AW = Poids moyen de l'animal dans une catégorie d'âge (kg)

Le poids de l'animal d'une catégorie d'âge est la moyenne du gain de poids dans deux catégories d'âge successives déterminée par l'équation (2.1).

Les besoins en MOD pour le *gain de poids* de femelles et de mâles dans chaque catégorie de poids sont basés sur l'équation (2.7) pour la teneur en énergie du poids métabolique :

$$\text{DOMG} = 2,415 * (W_f^{1,311} - W_s^{1,311}) / (19,33 / 2) \quad (2.23)$$

où :

DOMG = Matière organique digestible pour le gain de poids (kg animal⁻¹ an⁻¹)

W_f = Poids à la fin d'une catégorie d'âge (kg)

W_s = Poids au début d'une catégorie d'âge (kg)

La première partie de l'équation (2.23), le numérateur, représente l'énergie digestible requise pour atteindre le gain de poids indiqué. Du fait que les poids sont élevés à la puissance, les besoins par kg de gain de poids augmentent avec le poids initial d'une catégorie d'âge, reflétant une réduction de l'efficacité de l'énergie digestible pour la production de nouveaux tissus à des âges plus élevés.

Les besoins en MOD pour la *période de gestation* des femelles sont également basés sur l'équation (2.7), supposant que de nouveaux tissus sont produits pendant cette période. Le poids initial de la catégorie d'âge est fixé à zéro :

$$\text{DOMC} = 2,415 * (WC^{1,311}) / (19,33 / 2) \quad (2.24)$$

où :

DOMC = Matière organique digestible pendant la période de gestation (kg animal⁻¹ an⁻¹)

WC = Poids des veaux (kg)

Par catégorie d'âge, les besoins de DOMC par animal sont atteints en multipliant la DOMC calculée à l'aide de la formule (2.24) par le taux de fertilité (FR) déterminé au paragraphe 2.1.3.

Pour la production d'un kg de lait, il faut 7 MJ d'énergie digestible. En conséquence, les besoins en MOD pour la production d'1 kg de lait pendant la période de *lactation* (DOML) sont de 7 / 19,33 (= 0,36 kg de MOD). Les besoins totaux en DOML par animal pour chaque catégorie d'âge sont atteints en multipliant le besoin en DOM par kg de lait par la production de lait par femelle (MP dans la formule 2.19) et la fraction de femelles lactantes dans chaque catégorie d'âge.

Les besoins en MOD par animal et par catégorie d'âge est la somme des besoins en MOD spécifiques :

$$\text{DOMF} = \text{DOME} + \text{DOMG} + \text{DOMC} + \text{DOML} \quad (2.25)$$

$$\text{DOMM} = \text{DOME} + \text{DOMG} \quad (2.26)$$

où :

DOMF = Besoins en matière organique digestible par femelle par catégorie d'âge (kg)

DOMM = Besoins en matière organique digestible par mâle par catégorie d'âge (kg)

Dans la catégorie d'âge (t=0), les besoins en matière organique digestibles décroissent avec la quantité de lait utilisée par les veaux (500 kg), exprimée en terme de matière organique digestible. La teneur en matière organique du lait a été fixée à 95 % de la teneur en poids sec du lait, qui est de 13 %.

Les besoins en matière organique digestible d'un troupeau est atteint en multipliant le nombre de mâles et de femelles dans chaque catégorie, par les besoins calculés pour chaque catégorie d'âge, dans l'équation :

$$\text{DOMT} = \sum_{t=0}^{\text{FSR}-1} (\text{SNM}_t * \text{DOMM}_t + \text{SNF}_t * \text{DOMF}_t) \quad (2.27)$$

où :

DOMT = Besoins en matière organique digestible d'un troupeau (kg)

Les besoins moyens en matière organique digestible par animal est DOMT/1000. Le tableau 2.9 présente les calculs des besoins en matière organique du troupeau illustré au tableau 2.4. Dans cet exemple, les besoins en matière organique par animal sont de 776 kg par an, et de 1036 kg exprimé par UBT (1 UBT = un animal de 250 kg). Le tableau 2.10 présente les besoins en matière organique de toutes les activités d'élevage. Il faut noter que l'efficacité, en termes de matière organique digestible requise par UBT s'accroît avec l'augmentation du niveau d'ingestion énergétique. Une comparaison des besoins en matière organique digestible pour des niveaux d'ingestion énergétique de 1,1 et de 1,2 indique qu'un accroissement du niveau d'ingestion énergétique de 100 %, fait décroître ou stabilise les besoins en MOD par UBT.

Tableau 2.9. Illustration de la procédure permettant de déterminer les besoins en matière organique digestible d'un troupeau. Le niveau d'ingestion énergétique est de 1,1, l'âge de la vente est, respectivement, 11, 2 et 5 ans pour les femelles reproductrices, les femelles non reproductrices et les mâles.

Variable	Désignation dans le texte	Catégorie d'âge												Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Âge au début de la période	t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Âge à la fin de la période	t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Femelles :														
poids initial (kg)	W _s	18	93	150	191	222	245	262	274	283	290	295	299	
poids final (kg)	W _f	93	150	191	222	245	262	274	283	290	295	299	302	
poids moyen (kg)	AW	57	123	171	207	234	254	268	279	287	293	297	301	
MOD pour l'entretien (kg)	DOME	302	502	628	713	773	816	848	870	887	899	908	915	
MOD pour le gain de poids (kg)	DOMG	85	82	67	53	41	31	23	18	13	10	7	5	

MOD pour la période de gestation (kg)	DOMC	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
MOD pour la période de lactation (kg)	DOML	0	0	0	67	237	237	237	237	237	237	237	237	
Besoins totaux en MOD par animal (kg)	DOMF	325	584	695	841	1059	1093	1116	1133	1146	1154	1161	1166	

Mâles :

poids initial (kg)	W_s	19	97	163	218	264	302	334	361	383	402	417	430	
poids final (kg)	W_f	97	163	218	264	302	334	361	383	402	417	430	441	
poids moyen (kg)	AW	59	131	191	241	283	318	348	372	392	410	424	436	
MOD pour l'entretien (kg)	DOME	308	525	676	790	879	951	1008	1055	1094	1125	1151	1173	
MOD pour le gain de poids (kg)	DOMG	89	98	92	83	73	63	54	46	39	33	28	24	
Besoins totaux en MOD par animal (kg)	DOMM	335	622	767	872	952	1014	1062	1101	1133	1159	1179	1197	
Nbre de femelles par 1000 animaux	SNF	102	86	52	49	47	46	44	42	40	39	37	0	583

Nbre de mâles par 1000 animaux	SNM	102	86	80	76	73	0	0	0	0	0	0	0	417
Besoins totaux en MOD d'un troupeau (kg)	DOMT	67041	103420	96920	108283	120137	49819	48859	47615	46205	44702	43156	0	776158

Tableau 2.10. Besoins en matière organique digestible pour les activités d'élevage distinctes.

Niveau de production	Objectif de production	MOD (kg UBT ⁻¹)
1,05	lait	1062
1,05	viande	1069
1,05	traction	1005
1,10	lait	1089
1,10	viande	1089
1,10	traction	967
1,15	lait	1112
1,15	viande	1096
1,15	traction	933
1,20	lait	1105
1,20	viande	1080
1,20	traction	891

Les données quant aux besoins de main d'oeuvre pour les activités d'élevage sont plutôt rares dans la littérature. Ces besoins dépendent dans une grande mesure, de la taille du troupeau et de la situation de production spécifique, i.e. le système de pâturage, la structure de production de la ferme, la distance aux pâturages, etc. En conséquence, les besoins estimés de main d'oeuvre présentés par Van Duivenbooden *et al.* (1991) ont été utilisés. Pour les activités de gardiennage des animaux, on estime à 11 mois UBT⁻¹ an⁻¹ la main d'oeuvre requise ; pour les activités d'alimentation du bétail 0,03 mois UBT⁻¹ jour⁻¹ sont requis ; ceci donne en 11 mois an⁻¹ (= 365*0,03). Les besoins en main d'oeuvre pour la traite dépend de la quantité de lait produite ; ils sont déterminés ainsi :

$$\text{LRM} = 0,01 * (1 + \text{MC}/200) * 365 \quad (2.28)$$

où :

LRM = Besoins de main d'oeuvre pour la traite (mois an⁻¹)

3. Fourniture de matière organique digestible

Le fourrage disponible est réparti en dix catégories qualitatives, basées sur le niveau d'ingestion énergétique pouvant être maintenu et disponible pendant la saison sèche et humide. Ces catégories fourragères qualitatives peuvent englober une ou plusieurs sources alimentaires. Les niveaux d'ingestion énergétiques des sources fourragères correspondent à la teneur en

matière organique digestible de ces dernières, lesquelles correspondent généralement à la teneur en azote (voir tableau 3.1). Plus la matière organique digestible et la teneur en azote d'une source alimentaire est élevée, plus le niveau d'ingestion énergétique pouvant être obtenu est élevé. La caractérisation des sources alimentaires basées sur le niveau d'ingestion énergétique signifie que les activités animales uniquement assurées par des sources alimentaires correspondant à des niveaux d'ingestion énergétique supérieures à 1 ne peuvent pas se maintenir d'elles-mêmes. Les caractéristiques de qualité sont dérivées d'expériences réalisées dans le cadre du projet PSS et tirées de la littérature. Il convient de souligner que les caractéristiques de qualité des fourrages peuvent différer en fonction des sites et de la gestion du champ d'où ils proviennent. Les cultures fertilisées peuvent produire des pailles d'une teneur en azote et en matière organique digestible plus élevée que celles présentées au tableau 3.1. L'approche appliquée permet de déplacer les sources fourragères d'une catégorie à l'autre, dans le cas où de nouvelles données précises viendraient compléter les informations disponibles.

Tableau 3.1. Niveau d'ingestion énergétique de différentes sources fourragères, leur teneur en matière organique digestible (MOD %) et leur disponibilité pendant la saison humide et sèche.

Saison	No.	Niveau d'ingestion énergétique	MOD %	Source fourragère
humide	1	1,50	60	fourrage des parcours (N 16 g kg ⁻¹ de ms)
	2	1,75	65	fourrage des parcours (N: 16-22 g kg ⁻¹ de ms)
	3	2,00	70	fourrage des parcours (N > 22 g kg ⁻¹ de ms)
sèche	4	0,25	35	fourrage des parcours (N < 4 g kg ⁻¹ de ms)
	5	0,50	40	fourrage des parcours (N: 4 - 6 g kg ⁻¹ de ms)
	6	0,75	45	fourrage des parcours (N: 6 - 8 g kg ⁻¹ de ms), paille de mil, sorgho et maïs (feuilles et tiges), et andropogon
	7	1,00	50	fourrage des parcours (N: 8 - 10 g kg ⁻¹ de ms), pailles de mil, sorgho et maïs (feuilles), andropogon, paille de riz
	8	1,25	55	fourrage des parcours (N: 10 - 13 g kg ⁻¹ ms), paille de niébé et d'arachide
	9	1,50	60	fourrage des parcours (N > 13 g kg ⁻¹ de ms)
	10	2,00	70	tourteau de coton

Trois catégories de fourrage sont disponibles pendant la saison humide (No. 1, 2 et 3) contre sept catégories dans la saison sèche. Il convient de noter, par exemple, que les catégories fourragères 1 et 9 sont d'une qualité similaire, en terme de niveau d'ingestion énergétique ; elles sont cependant disponibles à des périodes distinctes, respectivement pendant la saison humide et pendant la saison sèche.

Les besoins, en termes de quantité et de qualité de la matière organique digestible ont été déterminés pour chaque activité animale (chapitre 2) de sorte à être assurés par les sources fourragères du tableau 3.1. Reste à déterminer quelle quantité des sources fourragères disponibles est requise pour satisfaire les besoins fourragères, i.e. avec quelles combinaisons de fourrages, ces besoins peuvent être satisfaits. Pour résoudre ce problème, on suppose que, pendant la saison humide, une des trois catégories fourragères définies est disponible (1, 2 ou 3), contre deux catégories pendant la saison sèche : une catégorie fourragère avec un niveau d'ingestion énergétique < 1 (4, 5 ou 6) et un avec un niveau d'ingestion énergétique > 1 (7, 8, 9 ou 10). La catégorie fourragère utilisée pendant la saison humide détermine l'ingestion énergétique pendant cette saison et, par conséquent, en combinaison avec le niveau d'ingestion énergétique requis d'une activité animale, le niveau d'ingestion énergétique requis pendant la saison sèche.

L'exemple cité au chapitre 2 illustre la procédure utilisée pour obtenir une combinaison réalisable de sources alimentaires susceptibles de satisfaire aux besoins en matière organique digestible d'une activité d'élevage dans la région de Koutiala

(SZ_37 ; voir aussi [Quak et al., 1996](#)) pour un niveau d'ingestion énergétique de 1,1, les femelles reproductrices étant vendues à l'âge de 11 ans, les femelles en surplus à l'âge de 2 ans et les mâles à l'âge de 5 ans. Les besoins en matière organique digestible par UBT, pour cette activité est de 1036 kg par an au total.

Les variables suivantes ont été introduites :

EI_p = Niveau annuel d'ingestion énergétique poursuivi.

EI_w = Niveau d'ingestion énergétique du fourrage pendant la saison humide.

EI_{d1} , EI_{d2} = Niveau d'ingestion énergétique du fourrage d1 et d2 pendant la saison sèche.

EI_d = Niveau moyen d'ingestion énergétique des sources fourragères d1 et d2 pendant la saison sèche.

Dur_w , Dur_d = Durée des saisons humide et sèche.

FM_w = Fraction des besoins totaux de matière organique digestible fournie pendant la saison sèche.

FM_{d1} , FM_{d2} = Fraction des besoins de matière organique digestible pendant la saison sèche, fournie par deux sources fourragères d1 et d2 respectivement.

DOM_w , DOM_{d1} , DOM_{d2} = Teneur en matière organique digestible des sources fourragères, un pendant la saison humide, deux pendant la saison sèche.

DOM_d = Teneur moyenne en matière organique digestible de deux sources fourragères pendant la saison sèche.

Le niveau annuel d'ingestion énergétique poursuivi (i.e. $EI_p = 1,1$) est basé sur les niveaux d'ingestion énergétique des fourrages pendant les saisons sèche et humide, et la durée des deux saisons :

$$EI_p = (EI_w * Dur_w + EI_d * Dur_d) / (Dur_w + Dur_d) \quad (3.1)$$

Si EI_w , EI_p , Dur_w et Dur_d sont connus, EI_d peut être calculé. Dans le cas de Koutiala où les pâturages sont de basse qualité, EI_w est fixé à 1,5, pour une durée de la saison humide de 4,8 mois. Ainsi, la saison sèche dure 7,2 mois. La valeur de EI_d peut être déterminée en reformulant l'équation (3.1), ce qui donne un niveau d'ingestion énergétique moyen de 0,833 pendant la saison sèche.

La fraction de matière organique digestible fournie pendant la saison humide est proportionnelle à la durée de cette saison et à la qualité du fourrage :

$$FM_w = ((EI_w * Dur_w) / (EI_p * (Dur_w + Dur_d))) \quad (3.2)$$

Dans cet exemple, FM_w égale 0,55. La fraction de fourrage d1 pendant la saison sèche est déterminée par l'équation :

$$FM_{d1} = (EI_d - EI_{d2}) / (EI_{d1} - EI_{d2}) \quad (3.3)$$

La fraction de fourrage d2 fournie pendant la saison sèche est le supplément (= 1- FM_{d1}). Supposant deux sources fourragères pendant la saison sèche, d'un EI_{d1} de 0,75 et d'un EI_{d2} de 2,0, la fraction de source fourragère d1 (FM_{d1}) pendant la saison sèche est de 0,93, et FM_{d2} 0,07.

La teneur moyenne en matière organique digestible des sources fourragères pendant la saison sèche est le moyenne pondérée des deux sources :

$$\text{DOM}_d = \text{FM}_{d1} * \text{DOM}_{d1} + \text{FM}_{d2} * \text{DOM}_{d2} \quad (3.4)$$

Les valeurs de DOM_{d1} et DOM_{d2} peuvent être dérivées du tableau 3.1 et sont égales à 0,45 et 0,7 pour, respectivement, un EI_{d1} de 0,75 et un EI_{d2} de 2,0. Dans l'exemple, la teneur moyenne en matière organique digestible (DOM_d) est égale à 0,47.

Pour déterminer les besoins en fourrages, en terme de matière sèche, les fractions de matière organique digestible sont divisées par la teneur en matière organique digestible des sources fourragères et la teneur en matière organique de la matière sèche est fixée à 90 %. Les besoins des trois sources fourragères, en terme de matière sèche, sont :

$$\text{DM}_w = \text{FM}_w / (\text{DOM}_w * 0,9) \quad (3.5)$$

$$\text{DM}_{d1} = \text{FM}_{d1} / (\text{DOM}_d * 0,9) \quad (3.6)$$

$$\text{DM}_{d2} = \text{FM}_{d2} / (\text{DOM}_d * 0,9) \quad (3.7)$$

où :

DM_w , DM_{d1} , DM_{d2} = Quantité de matière sèche de trois sources fourragères, respectivement une pendant la saison humide et deux pendant la saison sèche.

Dans l'exemple, DM_w , DM_{d1} et DM_{d2} s'élèvent respectivement à 1010, 1010 et 72 kg. Il convient de noter que la quantité de matière sèche requise pendant la saison humide (plus courte) est presque égale aux besoins en matière sèche pendant la saison sèche.

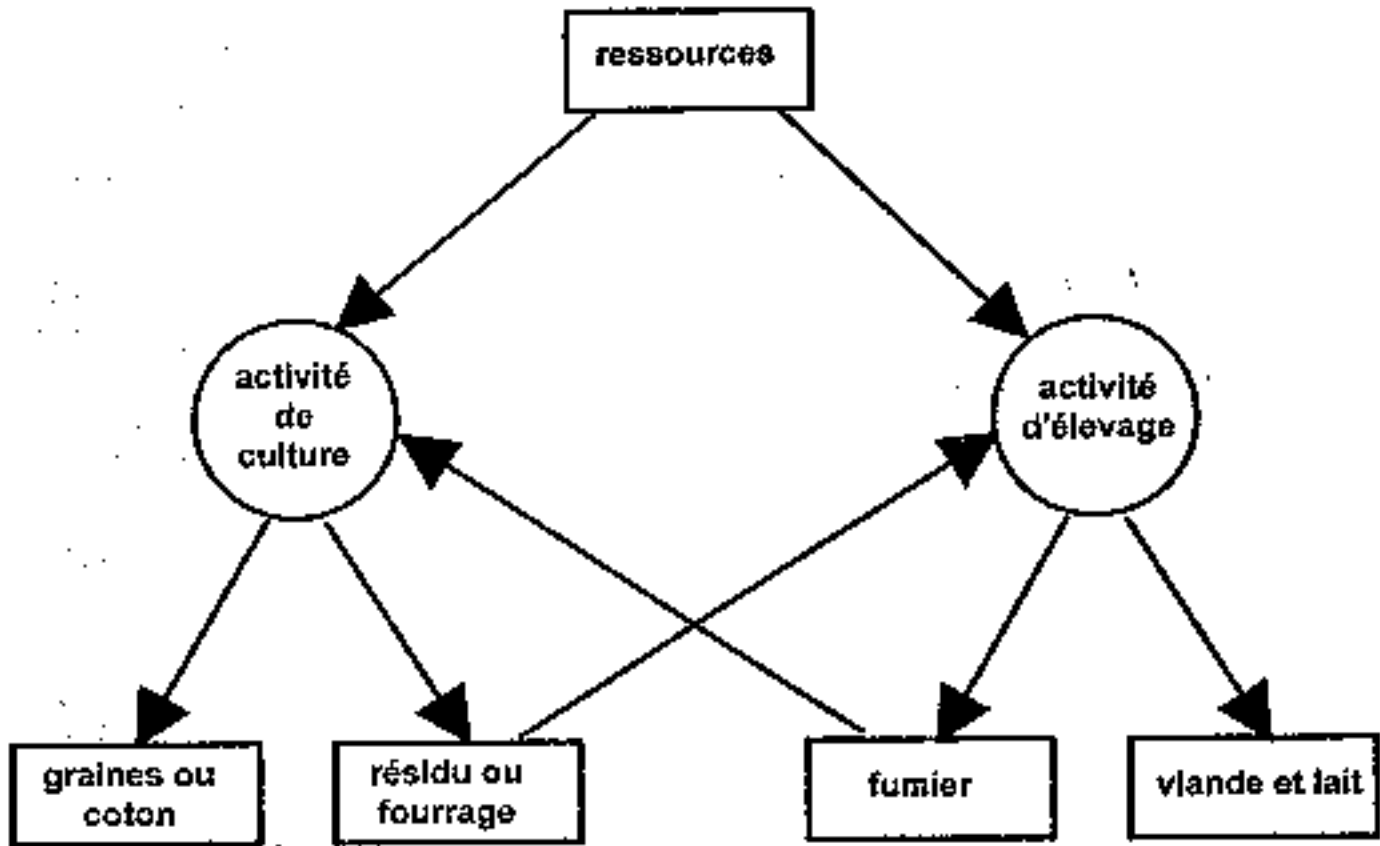
Pour chaque niveau d'ingestion énergétique, différentes combinaisons de sources fourragères ont été définies en vue de réaliser le niveau d'ingestion spécifié. Ces combinaisons sont appelées rations et comprennent un type fourrager pour la saison humide et deux pour la saison sèche. Les rations donnent au modèle PLBM la flexibilité nécessaire pour définir des solutions optimales. Le tableau 3.2 présente quelques exemples de ces rations. Les numéros des catégories fourragères correspondent aux numéros du tableau 3.1. Les trois premières catégories ne sont disponibles que pendant la saison humide. La sélection d'un fourrage d'un niveau d'ingestion énergétique de 1,50 pendant la saison humide (catégorie fourragère 1) et deux sources fourragères pendant la saison sèche, permet de déterminer les quantités de fourrages requis pour atteindre un niveau d'ingestion énergétique moyen de 1,1, selon la procédure décrite dans ce chapitre.

Tableau 3.2. Exemples de rations fourragères permettant d'obtenir un niveau d'ingestion énergétique de 1,1 (exprimé en kg de matière sèche animal⁻¹).

Catégories fourragères disponibles (voir tableau 3.1)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1010					1010				72
1010				842					241
1010			722						361
1010			661					420	
1010			577				505		
1010			451			631			
1010			240		842				

Littérature

- ARC, 1980, The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, 351 pp.
- Breman, H., 1990, Integrating crops and livestock in southern mali: Rural development or environmental degradation? Dans : Theoretical Production Ecology : Reflections and prospects (Rabbinge et al. eds). Simulation monographs 34, Pudoc, Wageningen, 301 pp.
- Breman, H. & N. de Ridder, 1991, [Manual sur les pâturages des pays sahéliens](#). ACCT - CTA - KARTHALA, 481 pp.
- CIPEA, 1978, Evaluation des productivités des racines bovines Maure et Peul à la station du Sahel, Niono, Mali. CIPEA Monographie no. 1, Addis Abeba, 128 pp.
- Duivenbooden, N. van, P.A. Gosseye & H. van Keulen (eds), 1991, Compétition pour les ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 2. Productions végétales, animales et halieutiques. CABO. Wageningen, Pays-Bas, ESPR, Mopti, Mali. 266 pp.
- Keulen van, H. & H. Breman, 1990, Agricultural development in the Western African Sahelian region: a cure against land hunger? Agriculture, Ecosystems and Environment (32): 177-197.
- Microsoft, 1992, EXCEL 4.0 Microsoft Cooperation.
- Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye (eds), 1982, [La production des pâturages sahéliens. Une étude des sols des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle](#). Agric Reseach Reports 918. Pudoc, Wageningen. 525 pp.
- Pol, van der F., 1992, Soil mining. An unseen contribution to farm income in Southern Mali, KIT-Bullentin 325, Royal Tropical Institute, Amsterdam. 47 pp.
- Quak, W., H. Hengsdijk, E.J. Bakker, K. Sissoko & M.S.M. Touré, 1996, [Description agronomique quantitative des systèmes de production végétale en zone soudano-sahélienne](#). Rapport PSS IER/AB-DLO/DAN-WAU (en prép.).
- Tolkamp, B.J. & J.J.M.H. Ketelaars, 1994, Efficiency of energy utilization in cattle given food ad libitum: predictions according to the ARC system and practical consequences. Animal Production 59: 43-47.
- Vierich, H.I.D. & W.A. Stoop, 1990, Changes in West African Savanna Agriculture in response to Growing Population and Continuing low rainfall. Agriculture, ecosystems and Environment 31(1990): 115-132.
- Wagenaar, K.T., Diallo, A. & A.R. Sayers, 1986, Productivity of transhumant Fulani cattle in the inner Niger delta of Mali. ILCA Research report no. 13, ILCA, Addis Abeba, 57 pp.
- Wilson, R.T., 1986, Livestock production in Central Mali: Long term studies on cattle and small ruminants in the agropastoral system. ILCA Bulletin 14, ILCA, Addis Ababa, 111 pp.



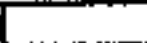

Légende :  intrant et/ou extrant d'une activité
 activité : processus plus ou moins complexe de transformation des intrants et extrants

Figure 1.1. Diagramme relationnel des activités de culture et d'élevage, en ce qui concerne la compétition pour les mêmes ressources et l'interaction aux travers des sous-produits.

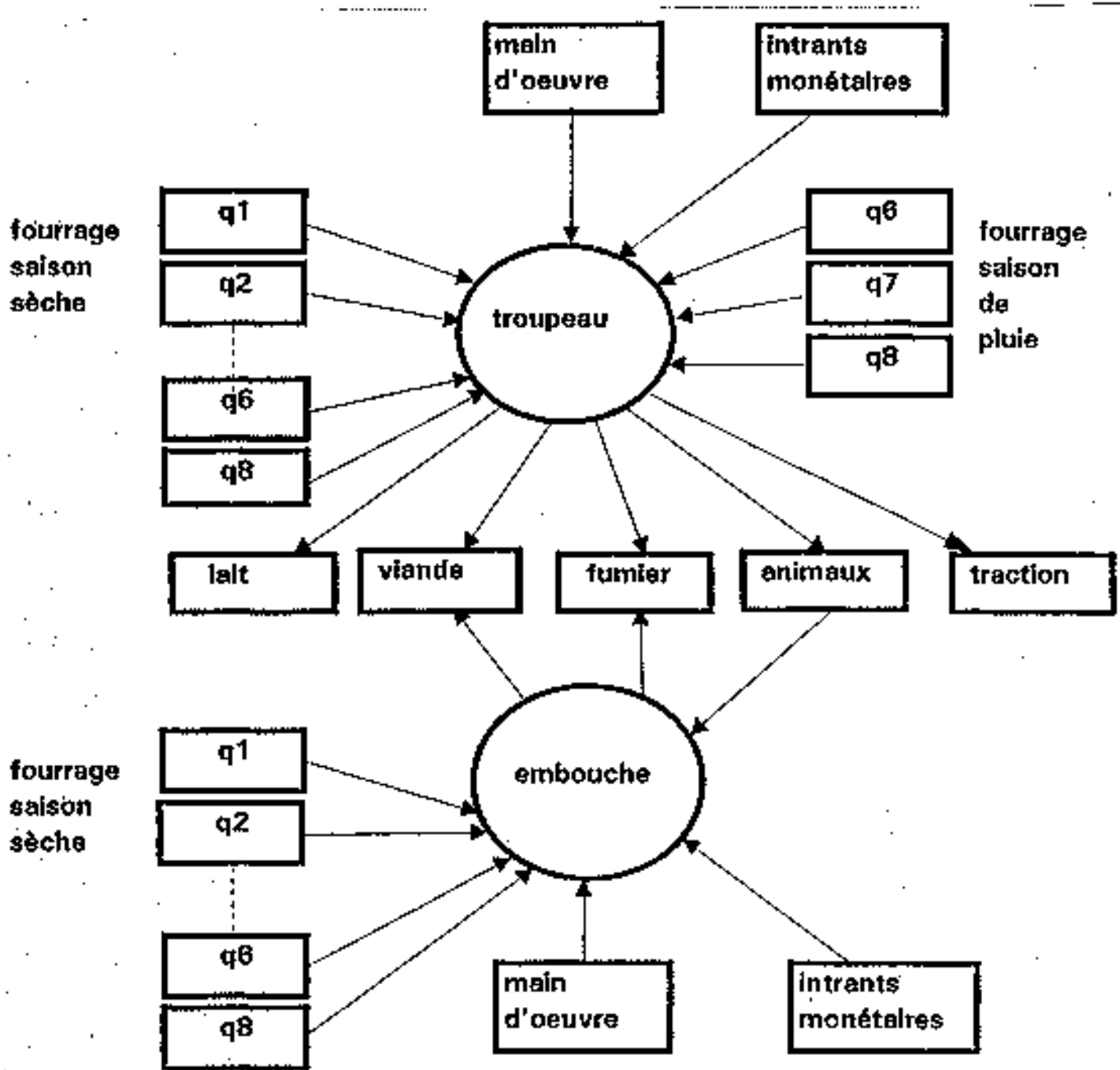


Figure 1.2. Intrants et extrants des activités d'élevage.

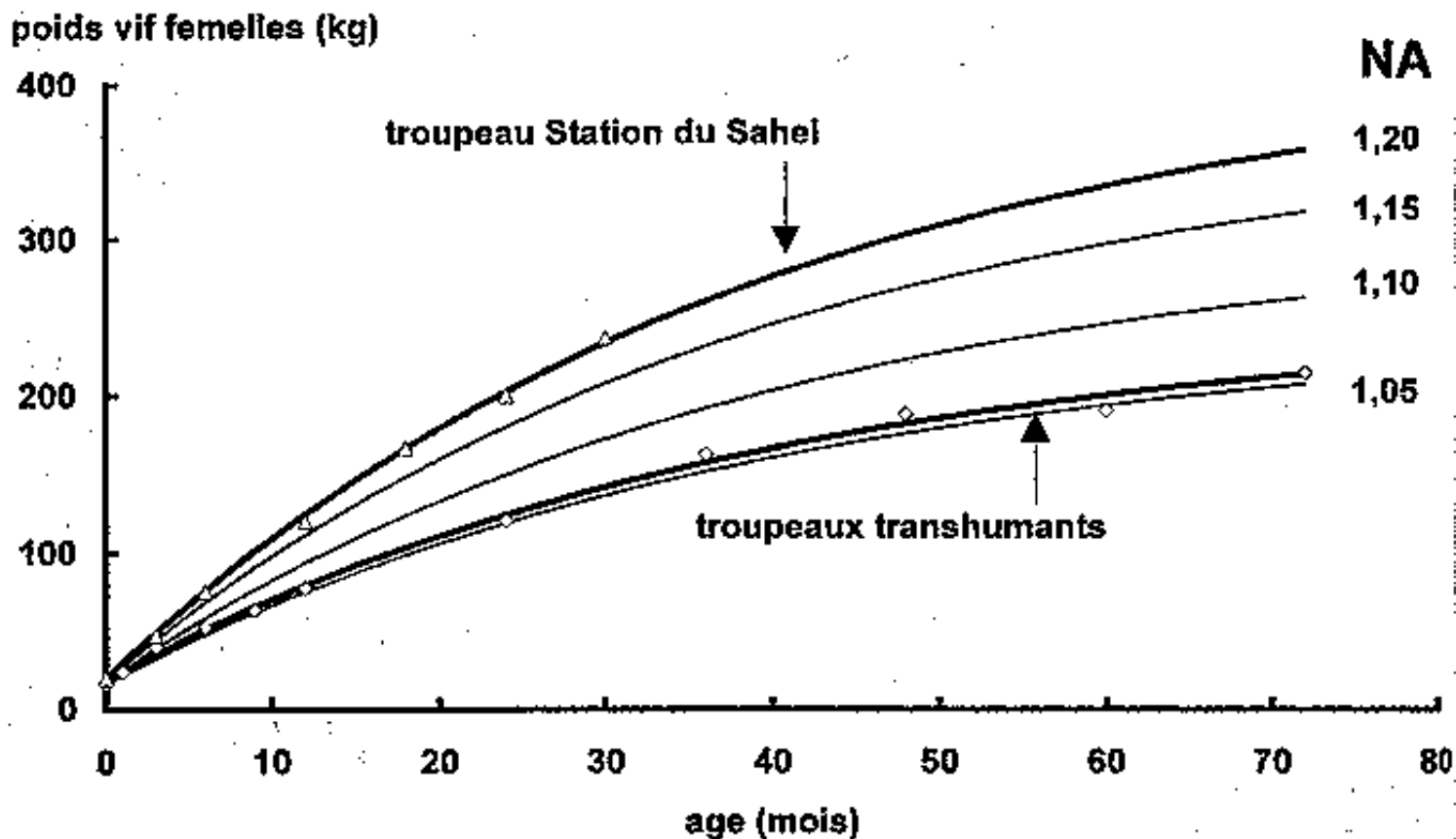


Figure 2.1. Courbes de croissance des animaux femelles au Sahel, à différents niveaux d'ingestion énergétique. Données de la Station du Sahel à Niono, Mali (CIPEA, 1978) et d'un troupeau transhumant à Diafarabe (Wagenaar et al., 1986). Les niveaux d'ingestion énergétique correspondent à l'ingestion énergétique estimée, en tant que fraction des besoins d'entretien des animaux d'un poids de 180 kg.

intervalle de vêlages (mois)

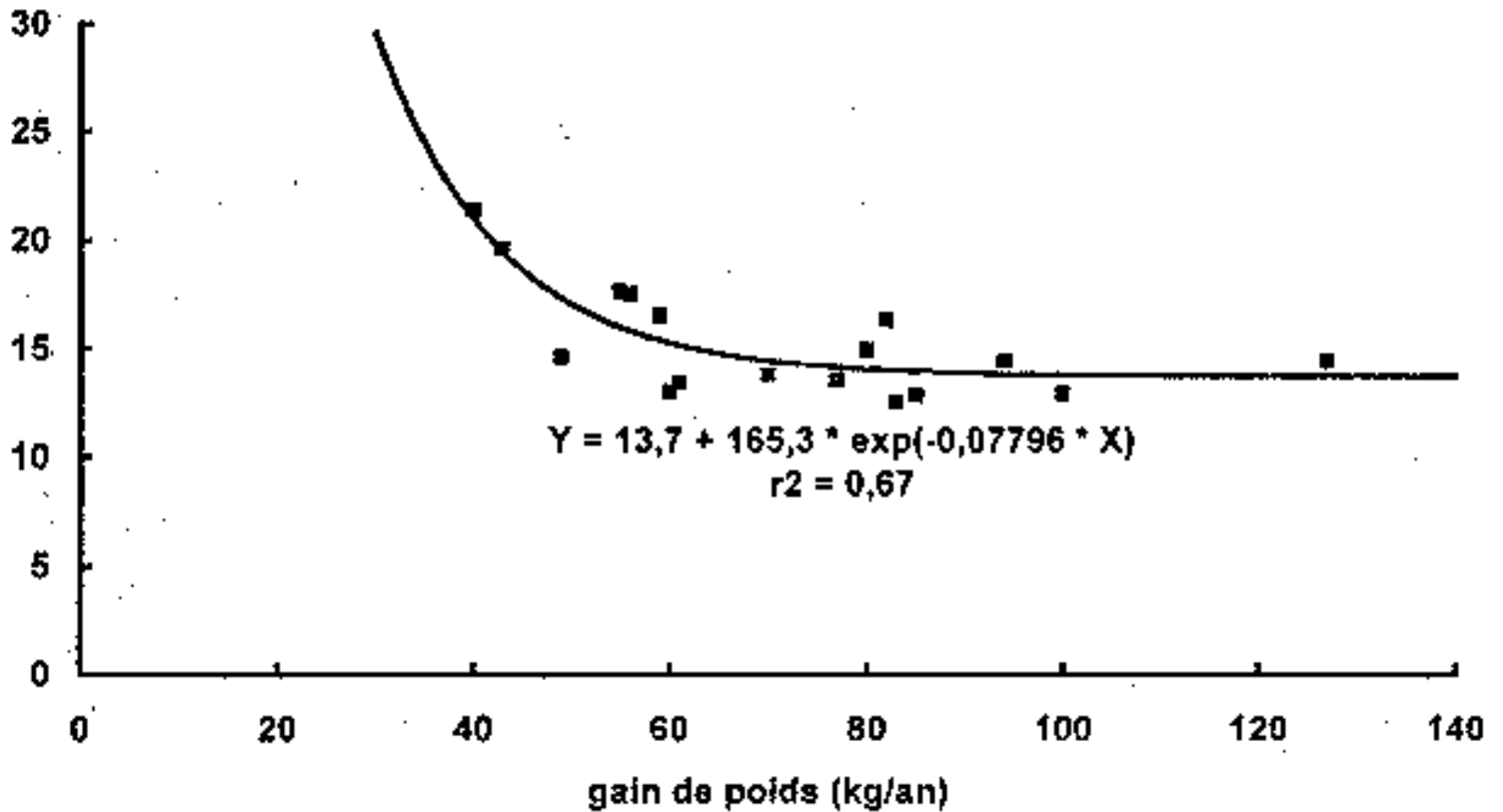


Figure 2.2. Relation entre le gain de poids des animaux femelles dans leur seconde année et l'intervalle de vêlage dans le même troupeau. Données recueillis par Breman & de Ridder (1991).