

Institut D'Élevage et de Médecine
Vétérinaire des Pays Tropicaux
10, rue Pierre-Curie
94704 MAISONS-ALFORT Cédex

École Nationale Vétérinaire
d'Alfort
7, avenue du Général-de-Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS

DIPLÔME D'ÉTUDE SUPÉRIEURES SPÉCIALISÉES PRODUCTION ANIMALES EN RÉGIONS CHAUDES

MÉMOIRE DE STAGE

VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE RATIONS À BASE DE FOURRAGES LIGNEUX DISTRIBUÉES À DES MOUTONS

par

Laurentius RUMOKOY

Année universitaire 1993-1994



DIPLÔME D'ÉTUDE SUPÉRIEURES SPÉCIALISÉES PRODUCTION ANIMALES EN RÉGIONS CHAUDES

VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE RATIONS À BASE DE FOURRAGES LIGNEUX DISTRIBUÉES À DES MOUTONS

par

Laurentius RUMOKOY

Lieu du stage : Maisons-Alfort (France)

Organisme d'accueil : CIRAD-EMVT - Service Nutrition

Période du stage : avril à septembre 1994

Rapport présenté oralement le : 30 septembre 1994

REMERCIEMENTS

C'est un réel plaisir et un honneur pour moi de pouvoir remercier ici Monsieur GRUVEL pour avoir bien voulu accepter mon inscription dans la formation de DESS et avec une grande attention pendant mes études à l'EMVT.

Je témoigne ma gratitude à Monsieur DUVALLET (Directeur d'enseignement de l'EMVT), qui est disponible et avec la gentillesse, m'accueille de réaliser la soutenance de mon mémoire de stage.

Mes remerciements vont également à Monsieur LEFÈVRE qui a toujours fait preuve de gentillesse et de disponibilité, en m'apportant tout le soutien nécessaire à l'obtention de ce stage.

En m'acceptant dans son service (Laboratoire d'Alimentation-Nutrition du CIRAD-EMVT), Monsieur GUERIN m'a fait le plus grand honneur. Qu'il me soit permis de lui adresser mes plus vifs remerciements pour la patience, la disponibilité et le goût du travail dont il a fait preuve tout le long du stage.

Je remercie Mesdames BERDON, BERNARD et Messieurs DUCHE et EL D'JENDOUBI du Laboratoire d'Alimentation-Nutrition, et Mesdames LANGUEDOCQ, GERBAUD et Mademoiselle VALLI et toute l'équipe de l'EMVT d'avoir assuré la présentation de ce mémoire et fait preuve de compréhension à mon égard.

Que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce document, veuillent trouver à travers ces lignes le témoignage de ma reconnaissance.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
SOMMAIRE	2
LISTE DES ABRÉVIATIONS	3
RESUMÉ	4
INTRODUCTION	5
I. PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	6
I.1. Teneur en énergie brute des aliments	6
I.2. Utilisation de l'énergie brute des aliments par les ruminants	7
I.3. La digestibilité de la matière organique, principal facteur de variation de la valeur énergétique	8
I.4. Mesure de la digestibilité	9
II. DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	
II.1. Objectifs	12
II.2. Matériels et méthodes	13
II.3. Résultats	15
II.3.1. Teneurs en énergie brute des échantillons des fourrages et des fèces ..	15
II.3.2. Comparaison des valeurs EB_m et EB_e	19
II.3.3. Teneurs en énergie digestible des fourrages ligneux des rations calculées par différence	24
DISCUSSION ET CONCLUSION	29

LISTE DES ABREVIATIONS

ADF	Acid detergent fiber
ADL	Acid detergent lignin
CB	Cellulose brute
dE	Digestibilité de l'énergie
dE_e	Digestibilité de l'énergie estimée
dE_m	Digestibilité de l'énergie mesurée
dMO	Digestibilité de la matière organique
dMS	Digestibilité de la matière sèche
EB	Energie brute
EB_e	Energie brute estimée
EB_m	Energie brute mesurée
ED	Energie digestible
ED_e	Energie digestible estimée
ED_m	Energie digestible mesurée
EF	Energie fécale
EF_e	Energie fécale estimée
EF_m	Energie fécale mesurée
EN	Energie nette
ENA	Exctractif non azotée
END	Energie non digestible
ET	Ecart type
ETR	Ecart type résiduel
M	Masse de l'échantillon
MA	Matière azotée
MAT	Matière azotée totale
M_c	Masse du fil coton
M_r	Masse du fil de fer
MG	Matière grasse
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
NDF	Neutral detergent fiber
N	Nombre d'observation
NS	Test statistique non significatif
R	Coéfficient de corrélation
R²	Coéfficient de corrélation au carré
UF	Unité fourragère
UFL	Unité fourragère lait
UFV	Unité fourragère viande
V	Volume de carbonate de sodium 0,1 N en ml

RÉSUMÉ

Une étude sur la valeur énergétique des fourrages ligneux a été effectuée au Laboratoire d'Alimentation et de Nutrition du CIRAD-EMVT.

L'objectif de cette étude était de connaître la digestibilité des fourrages ligneux en comparant les valeurs énergétiques mesurée et estimée par rapport aux équations proposées par Hofmann et al. (1971), Richard et al. (1991), Lefèvre et Guerin (1991).

Les échantillons étaient divisés en trois groupes :

- les aliments offerts,
- les aliments refusés,
- les fèces.

La teneur moyenne en énergie brute mesurée des espèces fourragères a été de 4691 kcal/kg MS sur les 32 échantillons, l'écart type 338, (valeur maximum 5201 Kcal/kg MS et minimum 3855 Kcal/kg MS).

Grâce à ces échantillons, il a été possible de compléter le fichier de Lefèvre et Guerin à 117 échantillons et de recalculer de nouvelles équations de prédiction de EB :

$$\text{EB} = 55,76 \text{ MAT} + 100,33 \text{ MG} + 48,42 \text{ CB} + 44,88 \text{ ENA}$$

kcal/kgMS g/kgMS

$$N = 117 \quad \text{ETR} = 245 \quad R^2 = 0,999$$

En raison de la nature complexe des fèces (d'origine endogène et alimentaire), on a testé l'équation généralement appliquée aux matières premières et aux aliments composés.

Pour prévoir la digestibilité de l'énergie d'un fourrage ligneux et sa teneur en énergie digestible il est préférable d'appliquer une relation générale entre dMO et dE, plutôt que de calculer la dE en fonction de dMO et de l'estimation de EB des fourrages et des fèces ne faisant intervenir que leurs teneurs en cendres et en MAT. En particulier, la prise en compte de la composition des fèces nécessite une analyse complète (MO, MAT, CB, MG et ADL); si elle n'est pas possible il vaut mieux s'en tenir à la relation générale :

$$dE_{e1} = - 6,833 + 1,055 \text{ dMO}, \text{ proposée par Richard et al (1990).}$$

VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE RATIONS À BASE DE FOURRAGES LIGNEUX DISTRIBUÉES À DES MOUTONS

INTRODUCTION

Le facteur alimentaire est un facteur limitant dans la réussite d'un élevage. Les fourrages ligneux, c'est à dire les arbres et arbustes fourragers des zones tropicales jouent un rôle important pour l'élevage des ruminants, en particulier pendant les périodes critiques de l'année (saison sèche) dans les régions arides ou semi-arides.

Spontanés ou cultivés, leur utilisation est variée. Le choix des espèces à protéger et multiplier repose sur des critères agronomiques et forestiers, mais doit également tenir compte de leur valeur fourragère. Celle-ci est très différente de celle des fourrages herbacés tempérés ou tropicaux et méconnue.

Les performances des ruminants sur parcours sahéliens dépendent des ressources fourragères et des capacités propres des animaux à se procurer de l'aliment, à résister à un espacement de l'abreuvement, à choisir et ingérer en quantités suffisantes les fourrages ayant la meilleure valeur nutritive.

Dans le cas des ruminants des régions intertropicales, l'énergie ingérée provient principalement des fourrages. Il est donc nécessaire de connaître leurs rôles dans les apports alimentaires.

Lors de diverses études menées sur des fourrages d'origine tropicale, les mesures d'énergie brute ont été faites sur des échantillons soit de fourrages de diverses origines, soit de fourrage offert, de fourrage refusé et des fèces correspondantes dans le cas d'essais de digestibilité.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Méthode d'étude de la valeur énergétique des aliments des ruminants.

I.1. Teneur en énergie brute des aliments

L'énergie brute (E.B.) est la quantité de chaleur produite au cours de la combustion complète d'un gramme de composé organique dans un calorimètre en présence d'oxygène (25 bars). La teneur en énergie brute d'un aliment est exprimée en kilocalories par g (kcal/g) de matière sèche ou en mégacalories par kg (Mcal/kg) de matière sèche. D'après le système international des unités de mesure, l'énergie brute devrait être exprimée en kilojoule (kj) ou en mégajoule (Mj) :

$$\begin{aligned} 1 \text{ kcal} &= 4,185 \text{ kj,} \\ 1 \text{ Mcal} &= 4,185 \text{ Mj} \\ &(\text{Jarrige, 1988}) \end{aligned}$$

Cette valeur peut être calculée approximativement à partir de la composition chimique des aliments. En effet, de nombreuses mesures ont permis d'établir que la combustion de :

1 g de glucides	fournit de 3,8 à 4,5 cal	moyenne 4,10 cal
1 g de lipides	fournit de 6,4 à 9,5 cal	moyenne 9,30 cal
1 g de protides	fournit de 5,5 à 5,9 cal	moyenne 5,65 cal

(R. Rivière 1991)

L'énergie brute peut être estimée en utilisant l'équation de Hoffmann (Hoffmann et al., 1971) :

$$\begin{aligned} \text{EB} &= 57,2 \text{ MAT} + 9,50 \text{ MG} + 4,79 \text{ CB} + 4,17 \text{ ENA} + \text{DELTA} \\ (\text{kcal/kg MS}) \quad & \text{g/kg MS} \quad \text{g/kg MS} \quad \text{g/kg MS} \quad \text{g/kg MS} \\ &(\text{DELTA est fonction de la nature de la matière première : espèce, organe, traitement...}) \end{aligned}$$

Richard et al. (1990) ont présenté une équation générale pour estimer les teneurs en énergie brute de fourrages disponibles en zone tropicale :

$$\begin{aligned} \text{EB} &= 1,646 \text{ MAT} + 4516 + \text{DELTA} \\ (\text{kcal/kg MO}) \quad & (\text{g/kg MO}) \\ &(\text{DELTA est fonction du type de fourrage : famille, stade...}) \end{aligned}$$

D'après Boudet (1991), la valeur fourragère d'un pâturage n'est que la résultante de celle des espèces présentes, période par période.

Il y a une corrélation entre la croissance et la teneur en énergie de la plante. Au début de la croissance, la plante est très feuillue. Ces feuilles sont riches en matières azotées (jusqu'à 30 p.

Il y a une corrélation entre la croissance et la teneur en énergie de la plante. Au début de la croissance, la plante est très feuillue. Ses feuilles sont riches en matières azotées (jusqu'à 30 p. 100 de la MS) et pauvres en cellulose. Les tiges, qui se développent au cours de la croissance de la plante, contiennent une importante proportion de tissus dits lignifiés, qui sont en quelque sorte le squelette et l'appareil de conduction de la tige. Il en résulte que la teneur en cellulose brute de la plante augmente, au cours du premier cycle plus particulièrement, alors que celle d'azote diminue ; en conséquence, d'après la formule présentée ci-dessus, la teneur en énergie brute diminue légèrement (écart maximum de 6 p.100 entre les jeunes fourrages et les plus âgés). Toutefois, pour l'animal, le principal facteur de variation de la valeur énergétique du fourrage est la diminution de la digestibilité qui peut passer de 80 p.100 aux stades les plus jeunes à 40 p.100 aux stades les plus avancés (INRA-ITEB-EDE, 1981).

I.2. Utilisation de l'énergie brute des aliments par les ruminants

Tout organisme vivant, du fait même du fonctionnement des organes nécessaires à la vie, dépense de l'énergie et subit des pertes de matériaux au cours du constant renouvellement des composés de la matière vivante. Un animal privé totalement de nourriture continue à éliminer des déchets organiques et minéraux sous forme de gaz carbonique, d'urine et de matières fécales. Il continue aussi à avoir besoin d'énergie pour assurer le travail mécanique de ses organes (cœur, poumons, etc), le travail chimique, tel que les synthèses de substances utilisées dans les divers métabolismes (enzymes et hormones) et pour réparer, ou reconstituer, les tissus et les éléments au fur et à mesure de leur dégradation, c'est à dire pour permettre toutes les fonctions indispensables au maintien et à l'entretien de cet état d'équilibre qu'est la vie. (Rivière, 1991)

De l'énergie et des matériaux doivent être apportés aux organismes pour compenser les pertes et les dépenses qui sont à l'origine des besoins. Les dépenses énergétiques peuvent être classées en trois catégories (Rivière, 1991) :

- des dépenses indépendantes de toute activité externe, celles d'un organisme au repos complet, en équilibre thermique avec le milieu extérieur et ne recevant aucune alimentation. Le sujet maintient simplement ses fonctions vitales autre que celles de l'alimentation et de la nutrition.
- des dépenses effectuées au cours des différentes phases de la nutrition (travail de préhension des aliments, mastication, rumination, assimilation des nutriments), pour la régulation thermique et pour le travail musculaire improductif (marche, mouvements de lever et coucher, mouvements inévitables lors du repos relatif)

L'ensemble de ces deux premières catégories constitue les dépenses d'entretien. Chez l'animal à jeun, l'énergie nécessaire pour assurer les fonctions d'entretien provient du catabolisme des réserves corporelles, le glycogène en premier, puis les graisses et les protéines. Les réserves organiques contiennent en effet de l'énergie mécanique ou combustible. Il effectue ainsi des transferts d'énergie. Chez l'animal recevant de la nourriture, c'est l'énergie chimique potentielle contenue dans les nutriments organiques qui fournit à l'organisme l'énergie nécessaire à son fonctionnement, couvre les besoins d'entretien du corps et prévient ainsi le catabolisme des tissus de réserve;

- des dépenses énergétiques liées aux productions (croissance, engraissement, gestation, lactation, production de laine, travail, etc.). Le plus souvent ce n'est que lorsque l'énergie apportée par les aliments est supérieure aux besoins d'entretien que l'excès est utilisé pour ces différentes formes de productions. C'est ainsi qu'un jeune animal emmagasinerait d'abord l'énergie excédentaire sous forme de protéines, en élaborant de nouveaux tissus (squelette, muscle), un animal à l'engrais, sous forme de muscle et de graisse, et une vache en lactation transformerait l'énergie alimentaire en énergie contenue dans les constituants du lait.

Toutefois, en ce qui concerne certaines productions, l'entretien n'a pas une priorité absolue dans l'utilisation de l'énergie alimentaire; un animal en croissance ayant une alimentation correcte en protéines mais insuffisante en énergie, continue à construire des tissus, mais il puise l'énergie manquante dans ses réserves de graisse. D'après Pury (1969), si le mouton mange plus d'hydrates de carbone que ce dont il a besoin, il transforme le surplus en graisse qu'il accumule sous la peau, dans les muscles, dans les fesses ou dans la queue selon la race à laquelle il appartient.

Le problème de l'énergie est donc fondamental dans les phénomènes vitaux. Cette énergie ne peut être fournie que par les aliments, car parmi toutes les formes d'énergie (thermique, mécanique, électrique) l'organisme animal ne peut utiliser que l'énergie chimique contenue à l'état potentiel dans les nutriments organiques: elle s'extériorise et se transforme lors des modifications métaboliques de ces nutriments. La capacité d'un aliment à fournir de l'énergie est donc d'une très grande importance dans la détermination de sa valeur nutritive. (Rivière, 1991).

Beaucoup d'aliments, même les aliments constructifs (les protéines) peuvent être utilisés pour satisfaire les besoins énergétiques du corps, mais tous n'ont pas le même rendement ni le même prix. Certains sont utilisés plus facilement et produisent plus d'énergie que d'autres. (Pury, 1969).

La teneur des aliments en énergie brute n'a qu'une signification très réduite, étant donné les pertes importantes subies au cours de la transformation des aliments. Par ailleurs, le coefficient d'utilisation varie suivant l'espèce animale et les conditions d'utilisation. (Rivière, 1991)

I.3. La digestibilité de la matière organique, principal facteur de variation de la valeur énergétique.

La digestibilité *in vivo* de la matière organique comprise entre 40 et 80 p.100 est le principal facteur de variation de la valeur énergétique des fourrages, mais dans la pratique les fourrages sont évalués par le zootechnicien, d'après leur teneur en énergie nette (EN), c'est-à-dire l'énergie finalement disponible pour les fonctions vitales de l'animal, son entretien ou encore celle fixée dans les produits animaux. L'énergie nette d'un aliment est déterminée par étapes successives à partir de la teneur en énergie brute (EB) et de sa digestibilité, paramètres étroitement liés à la composition chimique et à la digestibilité de la matière organique. Les rendements de transformation de l'énergie digestible (ED) en énergie métabolisable (EM) et de l'EM en EN sont fonction des caractéristiques des aliments et de l'utilisation de l'énergie métabolisable qui produit plus ou moins d'extrachaleur. Globalement, le rendement d'utilisation de l'ED est moins variable que la digestibilité de l'énergie elle-même. (Guerin, documentation pédagogique, IEMVT, 1993).

La digestibilité exprime le pourcentage des ingestats ne se retrouvant pas dans les fèces. Ces dernières comportent la fraction indigestible des aliments, des débris cellulaires provenant de la desquamation du tube digestif et des bactéries dont la présence dans les fèces est responsable chez les ruminants d'une part importante des matières azotées fécales (Yem-Yem, 1972).

I.4. Mesure de la digestibilité

L'énergie digestible (E.D.) est celle des nutriments digérés. La première perte, et généralement la plus importante, après l'ingestion d'un aliment, est due à une digestion incomplète. L'énergie perdue se retrouve dans les matières fécales (EF). L'énergie brute des fèces est déterminée, comme l'énergie brute, au moyen d'une bombe calorimétrique. (Rivière, 1991).

Au cours de leur utilisation par les animaux, les aliments subissent de nombreuses transformations dans l'appareil digestif et dans les tissus. Ils sont dégradés progressivement et chaque étape se traduit par des pertes d'énergie très variables selon les aliments. (Jarrige, 1988). Les pertes dans les fèces sont relativement faibles (de 12 à 25p.100) pour les céréales qui contiennent beaucoup d'amidon, mais importantes dans le cas de fourrages (de 20 à 60p.100), d'autant plus qu'ils sont plus âgés et plus lignifiés. (Jarrige, 1988). Pour calculer l'énergie brute du fourrage effectivement consommé on peut utiliser les équations (IEMVT, 1994) comme ci-dessous :

$$\text{EB consommé} = \frac{(\text{EB offert} \times 100) - (\text{EB refusée} \times \% \text{ refus d'aliment})}{100 - \% \text{ refus d'aliment}}$$

Cette relation tient compte des différences de composition entre le fourrage offert et le fourrage refusé et du taux de refus.

Si l'animal reçoit une ration comportant plusieurs aliments, la teneur en EB de la ration est la moyenne pondérée des EB des divers aliments.

Les facteurs de variations de la digestibilité :

L'énergie digestible (ED) est la différence entre l'énergie brute (EB) contenue dans l'aliment à la ration et l'énergie excrétée dans les fèces (EF). La digestibilité de l'énergie (dE) est le

rapport entre l'énergie digestible et l'énergie brute de l'aliment :

$$ED = EB - EF$$

$$dE = ED/EB$$

ou

$$dE = (EB - EF) / EB$$

On peut calculer le coefficient d'énergie digestible à partir de l'énergie digestible et non digestible comme ci-dessous :

$$\text{- Energie non digestible} = EB \text{ f\u00e8ces} \times (100 - \text{moyenne dMS}) / 100$$

$$\text{- Energie digestible} = EB \text{ ration} - \text{Energie non digestible}$$

$$\text{- Digestibilit\u00e9 de l'\u00e9nergie} = \frac{\text{Energie digestible} \times 100}{\text{Energie de la ration}}$$

La digestibilit\u00e9 de l'\u00e9nergie des aliments utilis\u00e9s par les ruminants est donc tr\u00e8s variable. La digestibilit\u00e9 constitue le principal facteur de variation de la valeur \u00e9nerg\u00e9tique des aliments (Jarrige, 1988).

D'apr\u00e8s Lhoste *et al.* (1993) la digestibilit\u00e9 varie en fonction de facteurs li\u00e9s \u00e0 l'animal et de facteurs li\u00e9s \u00e0 l'aliment :

a) Li\u00e9s \u00e0 l'animal :

- * de l'esp\u00e8ce et de la race: les ruminants dig\u00e8rent la cellulose, pas les monogastriques; certains ruminants tropicaux dig\u00e8rent des fourrages plus riches en lignine que les ruminants temp\u00e9r\u00e9s.
- * de l'\u00e2ge: les ruminants ne peuvent pas dig\u00e9rer la cellulose \u00e0 leur naissance, car ils ne disposent pas de l'\u00e9quipement bact\u00e9rien n\u00e9cessaire, le rumen, le r\u00e9seau et le feuillet n'\u00e9tant pas encore form\u00e9s.
- * des quantit\u00e9s ing\u00e9r\u00e9es
 - quand les quantit\u00e9s ing\u00e9r\u00e9es augmentent, le transit intestinal s'acc\u00e9l\u00e8re et la digestibilit\u00e9 diminue.
 - l'utilisation digestive des aliments s'accro\u00eet l\u00e9g\u00e8rement chez les animaux soumis \u00e0 une sous-alimentation.
- * de l'\u00e9tat sanitaire: les attaques de parasites, et en particulier de parasites gastro-intestinaux peuvent provoquer une chute de la digestibilit\u00e9.

b) Liés à l'aliment :

- * de l'importance des constituants pariétaux, et de leur digestibilité: les fourrages sont moins digestibles que les aliments concentrés. La digestibilité est inversement proportionnelle à la teneur en cellulose brute d'un aliment: plus cette dernière est élevée, plus la digestibilité est faible.
- * la digestibilité des parois dépend :
 - de la teneur en lignine principalement : plus les parois sont lignifiées, moins elles sont digestibles;
 - pour une même origine génétique dépend principalement de l'âge et de la température de croissance et diminuent plus rapidement la digestibilité. C'est par cette raison que sous irrigation par exemple les fourrages sont plus digestibles en saison sèche froide qu'en saison sèche chaude.
- * de la teneur en matières azotées à la ration: la digestibilité d'un fourrage tropical diminue quand la teneur en matières azotées est inférieure à 70-80 g/kg MS ; en dessous de cette valeur l'apport d'azote devient limitant par le développement et l'activité de la flore cellulolytique du rumen.

La mesure de la digestibilité des différents composants de la ration peut être exprimée de plusieurs façons :

- la digestibilité de la matière sèche: est estimée en comparant les quantités de matière sèche des aliments consommés et des matières fécales; si celle des fèces est égale à 40 % de celle des aliments consommés, la digestibilité est de 60 %.
- la digestibilité de la matière organique, des matières azotées et des parois(les plus intéressantes à mesurer pour estimer la valeur alimentaire d'un fourrage) ou de l'énergie se calculent à partir de la digestibilité de la matière sèche et des résultats d'analyse au laboratoire des fourrages et des matières fécales. Lorsqu'on indique la digestibilité d'un aliment, on a mesuré en fait la digestibilité de la matière sèche (Lhoste et al, 1993) ou de la matière organique.

Pour évaluer avec précision la mesure de la digestibilité, les rations doivent être ingérées en quantités limitées (IEMVT-ISRA, 1990). On ne peut donc obtenir par les mêmes essais des résultats de digestibilité et d'ingestion. Par ailleurs le comportement de l'animal apprécié par ses variations de poids (au début de l'adaptation, au début et la fin des mesures) et plus directement par les quantités ingérées est le meilleur indicateur des conditions de mesures. C'est pour cette raison qu'il est indispensable de mesurer les quantités ingérées en vert et en sec pendant toute la période d'adaptation. Les éventuelles chutes de consommation à la "montée en cage" ou à la "pose des sacs" peuvent ainsi indiquer un problème de matériel inadapté et en tout cas révéler des biais dans les mesures. Toutefois si la ration est distribuée en quantité limitée le risque de variation de l'ingestion est plus faible.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE EXPERIMENTALE

L'apport énergétique est fondamental pour tout mammifère. Dans le cas des ruminants des régions intertropicales, l'énergie ingérée provient principalement des fourrages. L'utilisation digestive de cette énergie est très variable suivant la composition chimique des aliments. La connaissance des teneurs en énergie brute (EB) et digestible (ED) des fourrages est donc une étape importante pour l'appréciation de leur valeur énergétique et donc la prévision de la couverture des besoins des animaux.

II.1. Objectifs

Des équations générales de prévision de la teneur en énergie brute des fourrages à partir de l'analyse chimique sont disponibles (INRA, 1978). Elles font intervenir les teneurs en cendres (matière organique = matière sèche - cendres) et en matières azotées. Des équations plus précises relatives aux fourrages tropicaux (Chenost *et al.*, 1978; Richard *et al.*, 1990) ont été proposées. Pour les aliments concentrés et composés, aux teneurs variables en cendres, glucides, lipides et protéines, l'équation de Hoffmann *et al.* (1971) est généralement appliquée. La bibliographie (Sauvant *et al.*, 1987, Richard *et al.*, 1990) propose aussi des équations assez précises permettant d'estimer la digestibilité de l'énergie (dE) en fonction de celle de la matière organique (dMO).

Dans le cas particulier des fourrages ligneux, dont les spécificités et la variabilité chimique est largement décrite (pauvreté relativement en parois totales, forte teneur en lignine, teneur très variable en MAT, Touré Fall 1993 par exemple), une estimation de la teneur en énergie brute à partir des teneurs en cendres et en MAT s'avère peu précise. Les prédictions les plus précises des teneurs en EB font intervenir les divers composants de la matière organique (CB, MAT, MG et ENA) comme dans l'équation de Hoffmann *et al.* (1971) avec, en plus, la lignine (ADL) (Lefèvre et Guerin, 1990).

Les travaux de Lefèvre et Guerin sur les fourrages ligneux ont été prolongés avec 35 nouveaux échantillons de fourrages pour consolider les équations de prédiction qu'ils avaient proposées. Parmi ces échantillons, 18 ont été l'objet de mesures de digestibilité *in vivo* avec des moutons, ce qui a permis, grâce à des mesures calorimétriques sur les fèces, de rechercher des équations de prédiction de la teneur en EB des fèces, éventuellement plus adaptées aux animaux recevant des ligneux que les équations générales (Richard *et al.*, 1990). Ces mesures ont aussi permis d'étudier les relations entre dMO et dE dans le cas des fourrages ligneux.

II.2. Matériels et méthodes

Les espèces étudiées :

Les espèces ligneuses étudiées, *Spondias mombin*, *Ficus gnaphalocarpa* (figure 2-1), *Piliostigma thonningii*, *Fluggea virosa*, *Daniellia oliveri*, *Parkia biglobosa* (figure 2-2), *Parinari curatellifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Faidherbia albida*, *Acacia linearoides*, *Ozoroa insignis*, *Sesbania rostrata*, *Acacia nilotica* (figure 2-3) et *Mangifera indica* (figure 2-4).

Les échantillons :

Les fourrages ci-dessus dont les feuilles et les tiges où encore les fruits, ont été distribuées comme aliment à des moutons en cage de digestibilité. Pour chaque aliment on a constitué 3 sortes d'échantillons :

- les aliments offerts (y compris pour les aliments de la ration de base = pailles , tourteau)
- l'aliment refusé
- les fèces

Les analyses chimiques :

Les échantillons ont été analysés chimiquement par les méthodes classique d'analyses bromatologiques (Duche et al., 1992).

La mesure de l'énergie brute :

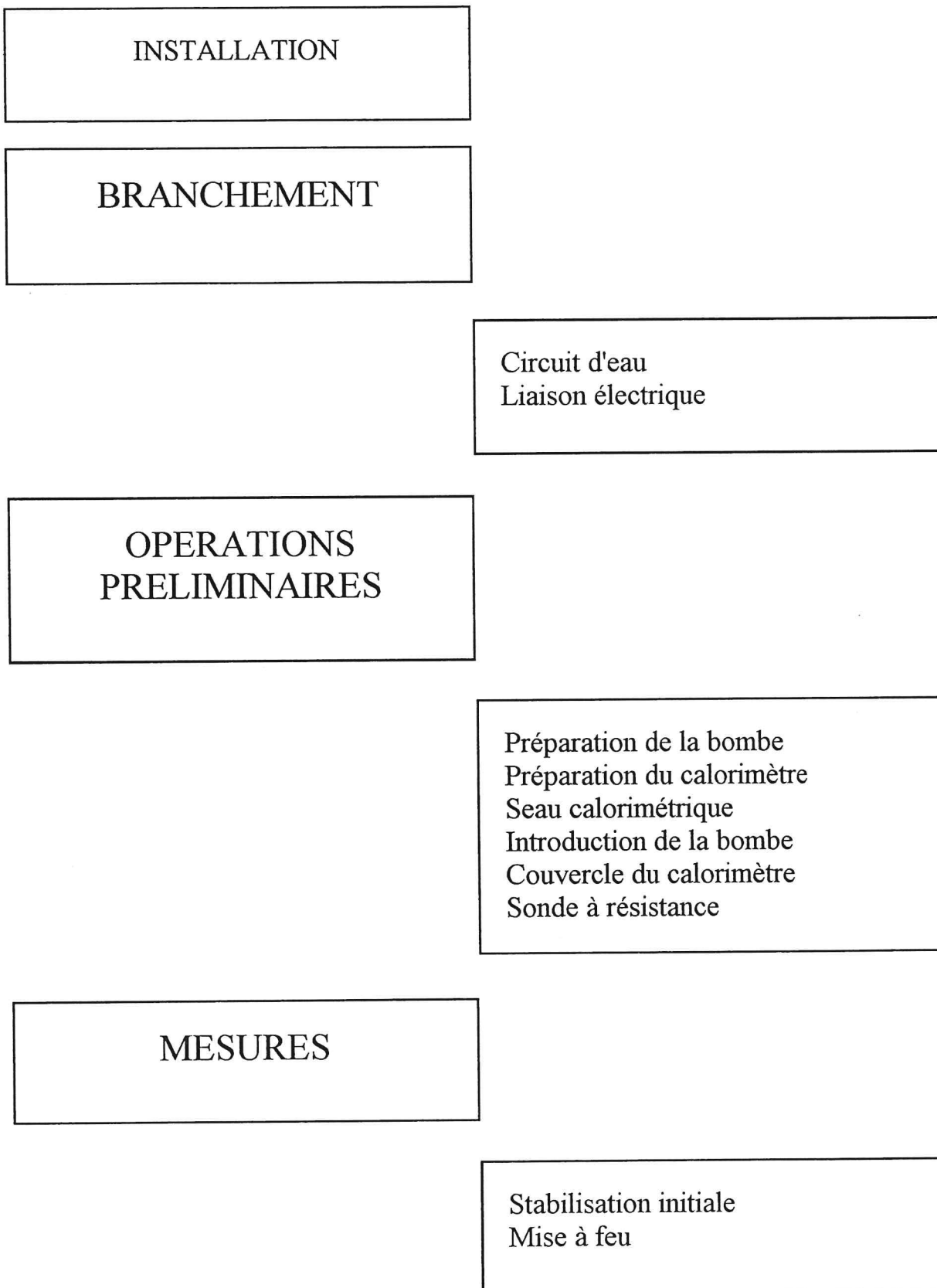
L'énergie totale ou énergie brute est la quantité totale d'énergie calorifique que l'on peut obtenir d'un aliment en le faisant brûler dans une bombe calorimétrique (Rivière, 1972).

La bombe calorimétrique PROLABO permet de mesurer la teneur en énergie brute des échantillons (figure 2-5). Environ 1,6 g. d'échantillon est pressé, puis pesé précisément. Avant la combustion, on prépare tous les instruments. On introduit précisément 10g d'eau dans la bombe sèche qui est alors pesée pour déterminer le poids (précis) de référence lors des dosages suivants. Ce poids de référence sert à ajuster les apports en eau lors des dosages ultérieurs. Puis on introduit l'oxygène avec une pression de 25 bars.

De la même façon, 2.4l d'eau sont introduit dans le cylindre intérieur qui est alors pesé avec précision, pour les ajustements ultérieurs. Après on installe ce cylindre dans le bloc, et enfin on introduit la bombe. Pour faire la mise à feu de l'échantillon dans la bombe il suffit d'appuyer fortement et rapidement sur la touche de mise à feu. L'aiguille de l'ampèremètre doit nettement dépasser la partie médiane du cadran. La lampe verte va s'allumer, puis la lampe rouge. L'équilibrage se poursuivant, on note de temps en temps la température jusqu'à sa valeur maximale. On attend de cinq à dix minutes pour que la température s'équilibre. Lire le thermomètre pour la valeur t_2 . La différence entre t_2 et t_1 (température avant la mise à feu) va être utilisée pour calculer la valeur d'énergie brute mesurée dès que la titration est effectuée.

La titration est faite en utilisant la solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3 0,1 N). Titrer le liquide dans la bombe où on a brûlé l'échantillon.

Figure 2.5 : Mesure d'Energie Brute sur bombe calirométrique



Finalement la variation de température, et le résultat du titrage, permettent de calculer par la formule suivante l'énergie brute mesurée :

$$EB_m = \frac{((t_2 - t_1) \times 2821) - (3,8 \times M_c) - (M_f \times 1,6) - (V \times 3)}{M}$$

- EB_m = énergie brute mesurée
t₂ = température à l'équilibre
t₁ = température avant la mise à feu
M_c = masse du coton
M_f = masse du fil de fer
V = volume de Na₂CO₃ 0,1N versé pour la titration
M = masse d'échantillon
3 = 3 cal/ml de Na₂CO₃ 0,1N

L'analyse statistique

Les comparaisons entre les valeurs estimées et mesurées des teneur en EB ont été étudiées par un test de Student appliqué aux différences avec le logiciel SAS.

II.3. Résultats

II.3.1. Teneur en énergie brute des échantillons des fourrages et des fèces

Les Résultats des mesures sont exposés au tableau 1 avec, pour chaque échantillon, les résultats des analyses chimiques en vue de rechercher des relations entre les paramètres thermiques et chimiques.

Les principaux aliments du bétail sont des végétaux, constitués de :

- composés pariétaux, plus ou moins riches en cellulose, composés pectiques et lignine, qui constituent la paroi des cellules végétales;
- composés cellulaires, surtout par exemple: amidon, acides aminés, sucre, lipides contenus à l'intérieur des cellules.

Tableau 1 : Teneur en énergie brute des échantillons des fourrages et fèces.

Espèce	Organe	EBm	MO	MAT	CB	NDF	ADF	ADL
		kcal/kg MS	g/kg MS					
<i>Acacia linearoides</i>	Feuilles	5073	94	125	312	565	512	288
	Refusé	5201	936	125	277	512	484	260
	Fèces	5456	915	172	303	755	729	578
<i>Acacia linearoides</i>	Feuilles	5139	940	131	287	555	468	261
	Refusé	5156	941	125	277	547	465	259
	Fèces	5487	940	132	288	751	749	584
<i>Acacia nilotica</i>	Feuilles	4742	918	133	174	231	179	75
	Refusé	4634	895	132	161	239	179	70
	Fèces	4746	799	132	314	493	360	201
<i>Daniellia oliveri</i>	Feuilles	4931	921	131	385	637	447	208
	Refusé	5007	929	123	345	559	412	202
	Fèces	4923	920	132	389	645	451	209
<i>Faidherbia albida</i>	Gousses	4522	959	112	291	439	344	89
	Refusé	4522	959	105	287	427	335	91
	Fèces	4903	114	181	379			
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	Branches	3855	832	121	211	452	412	122
	Refusé	3978	838	123	174	401	274	54
	Fèces	3632	278	157	514	478	243	
<i>Fluggea virosa</i>	Feuilles	4686	908	211	161	378	232	71
	Refusé	4548	910	209	154	295	197	52
	Fèces	4690	871	172	337	581	475	245
<i>Leucaena leucocephala</i>	Feuilles	4681	903	181	231	389	267	86
	Refusé	4468	895	161	284	437	320	95
	Fèces	4833	910	187	294	483	434	273
<i>Mangifera indica</i>	Feuilles	4378	893	84	254	431	336	104
	Refusé	4338	886	76	252	416	343	112
	Fèces	4452	832	122	313	567	503	256
<i>Ozoroa insignis</i>	Feuilles	3621	804	32	356	674	416	40
	Refusé	3621	806	31	371	686	427	48
	Fèces							
<i>Ozoroa insignis</i>	Feuilles	4997	935	106	192	462	294	161
	Refusé	4959	931	102	185	455	293	154
	Fèces	3999	770	101	250	587	478	249
<i>Parkia biglobosa</i>	Feuilles	5156	948	128	250	700	66	404
	Refusé	5147	945	129	248	639	565	306

Espèce	Organe	EBm	MO	MAT	CB	NDF	ADF	ADL
		kcal/kg MS	g/kg MS					
Fèces		5213	913	219	318	759	705	484
<i>Parinari curatellifolia</i>	Feuilles	4666	908	93	341	589	533	233
Refusé		4568	897	102	330	608	550	251
Fèces		4316	834	95	466	684	583	289
<i>Piliostigma thonningii</i>	Branches	4859	937	106	307	636	561	312
Refusé		4837	937	106	303	611	508	254
Fèces		4938	868	133	463	701	615	377
<i>Sesbania rostrata</i>	Tiges	4358	935	120	505	746	599	121
<i>Sesbania rostrata</i>	Feuilles	4425	833	309	93	160	132	121
Refusé		4440	934	69	608	835	671	132
Fèces		4617	869	113	460	246	643	518
<i>Spondias mombin</i>	Feuilles	4681	914	136	219	433	340	168
Refusé		4680	916	138	228	479	361	168
Fèces		4893	846	192	288	632	620	432

D'après les données ci-dessus, on constate que la teneur en énergie brute mesurée de *Parkia biglobosa* est la plus élevée, en revanche la plus basse est celle de *Ficus gnaphalocarpa*. Ces deux espèces sont respectivement les plus riches et les plus pauvres en matière organique (% MS).

La figure 2-6 montre d'ailleurs que les variations de teneurs en matière organique sont liées à celles relatives à l'énergie brute et expliquent 50 p.100 de celles-ci.

Cette première relation, banale, peut cependant être précisée en tenant compte de la nature des échantillons et des constituants chimiques. C'est ce qui est habituellement fait en nutrition animale.

Figure 2-6 :

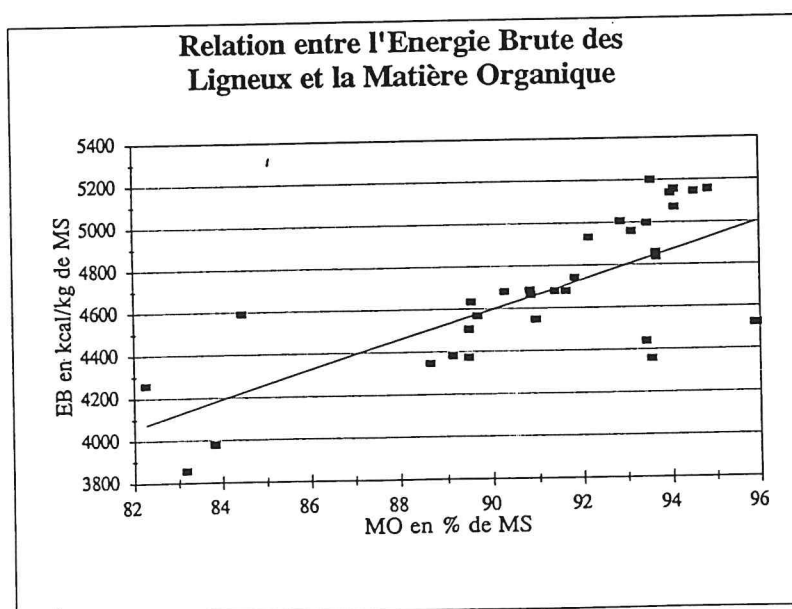


Tableau 2 : Teneur en énergie des aliments (kcal/kg MS)

Espèce	Organe	Aliment	EB _m	EB _c	EB _m -EB _c
<i>Acacia linearoides</i>	Feuilles	Offert	5073	5140	-67
		Refusé	5201	5236	-35
		Offert	5139	5071	68
		Refusé	5156	5142	14
<i>Acacia nilotica</i>	Feuilles	Offert	4742	5047	-305
		Refusé	4634	4947	-313
<i>Daniellia oliveri</i>	Feuilles	Offert	4931	4739	192
		Refusé	5007	4691	316
<i>Faidherbia albida</i>	Gousses	Offert	4522	4497	25
		Refusé	4522	4490	32
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	Branches	Offert	3855	4121	G
		Refusé	3978	3997	-19
<i>Fluggea virosa</i>	Feuilles	Offert	4686	4462	224
		Refusé	4548	4396	152
<i>Leucaena leucocephala</i>		Offert	4681	4602	79
		Refusé	4506	4468	38
<i>Mangifera indica</i>	Feuilles	Offert	4382	4352	30
		Refusé	4347	4338	9
<i>Ozoroa insignis</i>	Feuilles	Offert	4997	4837	160
		Refusé	4959	4818	141
<i>Parinari curatellifolia</i>	Feuilles	Offert	4666	4619	47
		Refusé	4568	4586	-18
<i>Parkia biglobosa</i>	Feuilles	Offert	5156	5233	-77
		Refusé	5147	4948	199
<i>Piliostigma thonningii</i>	Branches	Offert	4859	5125	-266
		Refusé	4837	4963	-126
<i>Sesbania rostrata</i>	Tiges	Offert	4358	4492	-134
	Feuilles	Offert	4258	4197	61
	Feuilles	Offert	4592	4356	236
	Tiges+F	Refusé	4440	4415	25
<i>Spondias mombin</i>	Feuilles	Offert	4681	4682	-1
		Refusé	4680	4655	25

Tableau 4 : Teneur en énergie brute estimées (EB_{e1} et EB_{e2}) et mesurées (EB_m) des fèces

Origine de l'aliment	EB _{e1}	EB _{e2}	EB _m	EB _m -EB _{e1}	EB _m -EB _{e2}
	Kcal / kg MS				
<i>Acacia linearoides</i>	4945	4577	5456	511	879
	4970	4610	5487	517	877
<i>Acacia nilotica</i>	4242	4213	4746	504	533
<i>Daniellia oliveri</i>	4878	4488	4902	24	414
<i>Faidherbia albida</i>	5146		4930	-216	
	5080		4909	-171	
	5114		4880	-234	
	5067		4892	-175	
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	3991	3600	3632	-359	32
<i>Fluggea virosa</i>	4741	4327	4690	-51	363
<i>Leucaena leucocephala</i>	4673	4622	4988	315	366
<i>Mangifera indica</i>	4352	4163	4452	100	289
<i>Ozoroa insignis</i>	3982	3677	3999	17	322
<i>Parinari curatellifolia</i>	4251	4038	4316	65	278
<i>Parkia biglobosa</i>	5129	4563	5213	84	650
<i>Piliostigma thonningii</i>	4568	4470	4938	370	468
<i>Sesbania rostrata</i>	4486	4352	4617	131	265
<i>Spondias mombin</i>	4710	4301	4893	183	592

Tableau 5 : Analyse statistique des comparaisons de EB mesurée (EB_m) et estimées (EB_{e1} et EB_{e2}) pour les fèces

Variable	Effectif	Moyenne	E.T.	Min.	Max.	Variance	T	Prob> T
EB _m -EB ₁	18	90	270	-359	517	72894	1	0,1766
EB _m -EB ₂	14	452	237	32	879	56188	7	0,0001

Le tableau 5, indique que l'application de l'équation de Hoffmann et al (1971) conduit à une sous estimation de la teneur en EB des fèces mais que les valeurs estimées par l'équation de Richard et al (1990) ne sont pas significativement différents de celle mesurées.

Nous avons toutefois recherché des équations de prévision de EB plus adaptées aux fèces

Nous avons toutefois recherché des équations de prévision de EB plus adaptées aux fèces d'animaux consommant des fourrages ligneux.

Pour cela, l'ensemble des fèces dont la teneur en EB a été mesurée par Richard *et al* (1990) et par nous même a été pris en compte en distinguant dans les modèles des fèces issues de rations avec ou sans fourrages ligneux.

Tableau 6 : Moyenne, écart-type et valeurs extrêmes des teneurs en EB (kcal/kg MS) des fèces de mouton recevant des rations avec et sans fourrages ligneux.

	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minium	Maximum
Ration sans ligneux	57	4303	503	3241	6459
Ration avec ligneux	19	4784	442	3632	5487

Le tableau 7 montre que dans les cas des rations sans ligneux la précision de l'estimation de l'énergie brute des fèces n'est pas améliorée quand on associe à MO et MAT les teneur en MG, CB, et ENA. Avec ADL, l'analyse la plus complète, l'écart type résiduel (ETR) est de 56 kcal/kg MS

$$EB_f = 70,43 \text{ MAT} + 98,58 \text{ MG} + 44,15 \text{ CB} + 46,70 \text{ ENA} + 5,47 \text{ ADL}$$

alors qu'il est de 77 en ne considérant que MO et MAT

$$EB_f = 41,04 \text{ MAT} + 4607$$

Dans le cas des rations avec ligneux, les variations de l'ETR sont beaucoup plus grandes :

- l'équation la plus simple ne prenant en compte que les 18 échantillons issus de ration avec ligneux donne un ETR de 330 kcal/kg MS

$$EB = 35,94 \text{ MAT} + 4818$$

- un traitement global des Résultats (rations avec et sans ligneux) en affectant un terme de correction au modèle pour l'un des deux types de fourrages permet d' abaisser l'ETR à 172 kcal/kg MS

$$EB = 38,89 \text{ MAT} + 4764$$

Δ = pour les fourrages ligneux

Δ = -132 pour les autres fourrages

Tableau 7 : Equations de prévision de la teneur en EB (kcal/kg MS) des fèces de mouton recevant des fourrages tropicaux d'Afrique sahélienne, soudanienne et guinéenne : rations avec et sans fourrages ligneux

Unité	MAT	MG	CB	ENA	ADL	Constante	Effectif	R ²	ETR	
% MO	41,04					4607	55	0,65	77	Autres fourrages
	35,94					4818	18	0,158	331	Ligneux
	48,77					4532	73	0,553	176	Ligneux + Autres fourrages
	38,89					4764	73	0,578	172	Ligneux : 0, Autres fourrages : -132
% MO	73,9	91,28	47,36	45,63			55	0,999	70	Autres fourrages
% MS	73,32	92,21	47,36	45,76			55	0,999	57	Autres fourrages
% MO	74,06	108,8	47,71	44,44			69	0,999	129	Ligneux + Autres fourrages
% MS	76,97	107,1	47,08	44,42			69	0,999	108	Ligneux + Autres fourrages
% MO	71,08	97,49	44,15	46,56	5,47		54	0,999	68	Autres fourrages
% MS	70,43	98,58	44,15	46,7	5,47		54	0,999	56	Autres fourrages
% MO	57,08	114,4	44,49	47,4	8,93		68	0,999	104	Ligneux + Autres fourrages
% MS	7,76	113,3	44,01	47,57	9,36		68	0,999	82	Ligneux + Autres fourrages
% MS	63,74	127,6	47,71	51,49	10,37	-476	68	0,968	76	Ligneux : 0, Autres fourrages : -103

(Lefèvre, Guerin 1994)

Ce n'est qu'en effectuant une analyse assez complète des fèces (MO, MAT, CB, MG, ENA) que l'ETR est abaissé aux environs de 100 kcal/kg MS,

$$EB = 76,97 \text{ MAT} + 107,05 \text{ MG} + 47,08 \text{ CB} + 44,42 \text{ ENA}$$

Comme pour les fourrages la précision est améliorée en associant l'ADL aux paramètres précédents, ETR = 76.

$$EB = 63,74 \text{ MAT} + 127,61 \text{ MG} + 47,71 \text{ CB} + 51,49 \text{ ENA} + 10,37 \text{ ADL} - 476 + \Delta$$

$\Delta = 0$ pour les fourrages ligneux
 $\Delta = -103$ pour les autres fourrages.

II.3.3. Mesure et estimation de la digestibilité de l'énergie

La digestibilité de l'énergie brute est définie par la relation :

$$dE = \frac{\text{énergie consommée} - \text{énergie fèces}}{\text{énergie consommée}}$$

Elle peut être évaluée par plusieurs voies :

- la plus simple consiste à estimer à partir de la digestibilité de la matière organique en appliquant l'équation de liaison entre dE et dMO :

$$dE_{e1} = -6,833 + 1,055 \text{ dMO}$$

$$ETR = 0,805 \quad R = 0,996 \quad N = 62 \quad (\text{Richard et al., 1990})$$

- une autre méthode peut consister à la calculer en fonction de dMO et des teneurs estimées en EB des aliments et des fèces. Avant ce travail expérimental, nous aurions utilisé pour cela les teneurs en MO et MAT des aliments des fèces.

$$dE_{e2} = 1 - (1 - \text{dMO}) \times \frac{EB_{fe}}{EB_{ce}}$$

avec EB_{fe} et EB_{ce} en kcal/kg MO

- enfin, la méthode a priori la plus fiable consiste à mesurer les teneur en EB des aliments consommés (EB_{cm}) et des fèces (EB_{fm}) et à les appliquer à l'équation précédente :

$$dE_m = 1 - (1 - \text{dMO}) \times \frac{EB_{fm}}{EB_{cm}}$$

avec EB_{fm} et EB_{cm} en kcal/kg MO

Ces méthodes peuvent être appliquées à des rations simples composée uniquement que de ligneux ou à des régimes comportant un ligneux associé à une ration de base. Dans ce dernier cas qui concernait un de nos essais (*Ozora insignis*) la digestibilité des ligneux est calculée par différence.

L'indigestible du ligneux est égal à l'indigestible total diminué de l'indigestible des aliments d'accompagnement.

La formule ci-dessous, permet de calculer l'énergie digestible des fourrages ligneux des fourrages ligneux :

$$EB_m = \frac{EB \text{ consommée} - \text{Energie non digestible}}{100}$$

$$ED_e = \frac{dE}{100 \times EB}$$

$$dE \text{ ligneux} = \frac{(\text{cons R} \times dER \times 100) - (\text{cons F} \times dEF \times \%F)}{\text{cons Ligneux} \times \% \text{ Ligneux}}$$

Ration : Fourrage : 69,7 % de Paille de riz
Ligneux : 30,3 % de Feuilles de *Ozoroa insignis*

$$dE \text{ ligneux} = \frac{(4038 \times 40,4 \times 100) - (3621 \times 52 \times 69,7)}{4997 \times 30,30} = 21,1 \%$$

Nous avons donc pour chaque échantillon trois valeurs différentes de dE, applicables soit à une valeur mesurée de EB du ligneux soit à une valeur estimée. On en a déduit des teneurs en énergie digestible ED :

- ED_m = teneur en énergie digestible mesurée c'est à dire calculée à partir de la mesure de la digestibilité *in vivo*.
- ED_{e1} = teneurs en énergie digestible estimée en fonction de la relation entre DMO et dE (dE_{e1}) et de la teneur en EB mesurée du fourrage.
- ED_{e2} = teneur en énergie digestible estimée en fonction de la mesure de la digestibilité *in vivo* et des teneurs estimées en EB des fourrages et des fèces.

Tableau 8 : Digestibilité de la matière organique et de l'énergie, soit mesurée (DE_m), soit estimée en fonction de dMO (dE_{e1}) soit calculée en fonction de dMO et des teneurs estimées en EB des fourrages et des fèces (dE_{e2})

Origine de l'aliment		dMO _m	dE _m	dE _{e1}	dE _{e2}	dE _m -dE _{e1}	dE _m -dE _{e2}
		p.100					
<i>Acacia linearoides</i>	Feuilles	35,1	27,8	30,2	35,5	-2,4	-7,7
	Feuilles	37,8	32,1	33,1	37,6	-1	-5,5
<i>Acacia nilotica</i>	Feuilles	65,5	60,2	62,3	66,6	-2,1	-6,4
<i>Daniellia oliveri</i>	Feuilles	36	24,7	20,6	23,8	4,1	0,9
<i>Faidherbia albida</i>	Gousses	49,4	44,1	45,3	41,6	-1,2	2,5
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	Feuilles	50	45,3	45,9	44,9	-0,6	0,4
<i>Fluggea virosa</i>	Feuilles	66,9	66,1	63,8	63,7	2,3	2,4
<i>Leucaena leucocephala</i>		67,5	63,3	64,4	64,8	-1,1	-1,5
<i>Mangifera indica</i>	Feuilles	45,8	40,8	41,5	41,8	-0,7	-1
<i>Ozoroa insignis</i>	Feuilles	27,5	21,1	22,2	39,8	-1,1	-18,7
<i>Parinari curatellifolia</i>	Feuilles	31,7	32	26,6	31,1	5,4	0,9
<i>Parkia biglobosa</i>	Feuilles	31,6	28,1	26,5	35,1	1,6	-7
<i>Piliostigma thonningii</i>	Branches	50,5	45,7	46,4	52,4	-0,7	-6,7
<i>Spondias mombin</i>	Feuilles	38	30	33,3	32,7	-3,3	-2,7

II.3.4. Teneur en énergie digestible des fourrages ligneux des rations calculées par différence

Tableau 9 : Teneurs en énergie digestible mesurée (ED_m) ou estimées (ED_{e1} et ED_{e2})

Origine de l'aliment		ED_m	ED_{e1}	ED_{e2}	$ED_m - ED_{e1}$	$D_m - ED_{e2}$
		Kcal/Kg MS				
<i>Acacia linearoides</i>	Feuilles	1410	1552	1825	-142	-415
	Feuilles	1650	1676	1907	-26	-257
<i>Acacia nilotica</i>	Feuilles	2855	3143	3361	-288	-506
<i>Daniellia oliveri</i>	Feuilles	1218	976	1128	242	90
<i>Faidherbia albida</i>	Gousses	1994	2036	1871	-42	123
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	Feuilles	1746	1892	1860	-146	-104
<i>Fluggea virosa</i>	Feuilles	3097	2845	2842	252	255
<i>Leucaena leucocephala</i>		2963	2963	2982	0	-19
<i>Mangifera indica</i>	Feuilles	1788	1806	1819	-18	-31
<i>Ozoroa insignis</i>	Feuilles	1054	1073	1925	-19	-871
<i>Parinari curatellifolia</i>	Feuilles	1493	1229	1437	264	56
<i>Parkia biglobosa</i>	Feuilles	1449	1387	1837	62	-388
<i>Piliostigma thonningii</i>	Branches	2221	2380	2685	-159	-464
<i>Spondias mombin</i>	Feuilles	1404	1557	1531	-153	-127

Tableau 10 : Comparaison des valeurs mesurée et estimées de digestibilité de l'énergie et des teneurs en énergie digestible des fourrages ligneux

Variable	Effectif	Moyenne	E.T.	Min.	Max.	T		Prob> T
$dE_m - dE_{e1}$	14	-0,05	2, 49	-3, 26	5, 39	-0,07	NS	0,94 63
$dE_m - dE_{e2}$	14	-3,58	5, 68	-18, 7	2, 5	-2,36	*	0,03 47
$ED_m - ED_{e1}$	14	-12	169	-288	264	-0,27	NS	0,78 83
$ED_m - ED_{e2}$	14	-189	308	-871	255	-2,31	*	0,03 82

Du tableau 10, il peut-être conclu que pour prévoir la digestibilité de l'énergie d'un fourrage ligneux et sa teneur en énergie digestible il est préférable d'appliquer une relation générale entre dMO et DE, plutôt que de calculer la DE en fonction de dMO et d'estimation de EB des fourrages et des fèces ne faisant intervenir que leurs teneurs en cendres et en MAT. En particulier, la prise en compte de la composition des fèces nécessite une analyse complète (MO, MAT, CB, MG et ADL); si elle n'est pas possible il vaut mieux s'en tenir à la relation générale :

$$DE_{e1} = -6,833 + 1,055 \text{ dMO}$$

proposée par Richard et al 1990.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les premières étapes de l'évaluation de la valeur énergétique des aliments sont l'estimation de la teneur en énergie brute, qui varie avec une amplitude de 6 p.100 dans le cas des fourrages, et celle de sa digestibilité qui est généralement comprise entre 40 et 80 p.100.

Pour les fourrages cultivés tels que les graminées, ces paramètres sont habituellement approchés, ou même estimés avec précision, à l'aide de critères chimiques simples tels que les teneurs en cendres et en matières azotées.

Des travaux antérieurs (Lefèvre et Guerin, 1990 - Koné 1987 - Touré Fall, 1994) ont montré qu'il n'en n'était pas de même pour les fourrages ligneux.

Notre travail a eu pour objectif de rechercher les relations existant entre la valeur énergétique des fourrages ligneux et leur composition chimique afin d'estimer les teneurs en EB et en ED. Une méthode fiable permettrait, en effet, de s'affranchir de mesures calorimétriques fort coûteuses.

Pour cela, nous avons mesuré la teneur en énergie brute d'une trentaine d'échantillons de fourrages analysés chimiquement par ailleurs.

Nous avons confirmé la nécessité d'associer aux cendres et aux matières azotées, les teneurs en matières grasses, en cellulose brute et en extractif non azoté pour prévoir correctement la teneur en EB. L'estimation est aussi plus précise quand on intègre la teneur en ADL dans les modèles. Avec ces équations, les teneurs en EB des fourrages ligneux étudiées (en kcal/kg MS : moyenne = 4691, écart-type = 338, minimum = 3855, maximum = 5201) peuvent être prédites avec un écart-type résiduel de 208 kcal/kg MS.

Cette différence, par rapport aux fourrages dit classiques, s'explique par le fait que les espèces végétales concernées sont nombreuses et que, d'une espèce à l'autre, il y a une grande diversité de distribution des constituants chimiques. De ce fait, les teneurs en MAT, MG, CB etc... varient de façon relativement indépendante, ce qui n'est pas le cas pour les graminées, par exemple : dans une graminée, quand la teneur en cellulose brute augmente celle en matière azotée diminue et ces paramètres sont étroitement corrélés entre eux.

La lignine contient, entre autres substances, des lipides complexes indigestibles qui contribuent fortement à la teneur en énergie brute des ligneux d'où l'importance de ce paramètre car l'Acid Detergent Lignin peut représenter jusqu'à 30 p.100 de la matière sèche des fourrages ligneux.

Toutefois, cette énergie, notamment celle contenue dans la lignine (en principe indigestible) est plus ou moins disponible pour l'animal. Il est nécessaire pour l'évaluation directe de la digestibilité de l'énergie de mesurer l'énergie excrétée dans les fèces.

Nous avons donc mesuré les teneurs en énergie brute des fèces de 14 groupes de moutons ayant reçu des rations à base de fourrages ligneux.

Comme pour les aliments, il s'avère que dans ce cas, une analyse assez complète (mêmes dosages que pour les fourrages) était nécessaire pour une évaluation correcte de la teneur en énergie brute.

BIBLIOGRAPHIE

1. ARBELLOT B., 1993. Etude de la valeur nutritive des fourrages ligneux consommés par les ruminants. Mémoire, de D.E.A. Maisons-Alfort. CIRAD-EMVT. 36 p.
2. BOUDET G. 1991. Pâturages tropicaux et cultures fourragères. Documentation Française. Paris. 266 p.
3. DUCHE A., LEFEVRE P., SABROUX V., BERDON D., BERNARD G., 1992. Les techniques d'analyses d'aliments du bétail appliquées au CIRAD-EMVT. Maisons-Alfort. IEMVT.
4. FALL S.,T., 1993. Valeur nutritive des fourrages ligneux, leur rôle dans la complémentation des fourrages pauvres des milieux tropicaux. Thèse de Doctorat de troisième cycle, Montpellier. ENSAM. 139 p.
5. GUERIN H., 1987. Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturel sahéliens et sahélo-soudaniens : étude méthodologique dans la région de Ferlo au Sénégal. Thèse Doct. Ing., Montpellier, ENSAM. 213 p.
6. GUERIN H., 1990. Etude de la valeur nutritive des fourrages ligneux consommés par les ruminants. Maisons-Alfort. IEMVT.
7. GUERIN H., 1992. Etude de la valeur nutritive des fourrages ligneux consommés par les ruminants. In : Rapport de mission au laboratoire de recherches vétérinaires et zootechniques de Farcha, Ndjamena, Tchad. Maisons-Alfort. IEMVT. 69 p.
8. GUERIN H., 1993. Nutrition énergétique - Expression des apports et des besoins. In : Documentation pédagogique, Maisons-Alfort, IEMVT.
9. HOFFMANN L., SCHIEMANN R., JENTSCH W., 1971. Energetische Verwertung der Nährstoffe in Futterrationen. In : Energetische Futterbewertung und Energienormen. Deutscher Landwirtschafts Verlag, Berlin, DDR. p. 118 - 167.
10. IEMVT-ISRA, 1992. Equations servant au calcul des valeurs nutritives en fonction des mesures de digestibilité *in vivo* et de l'analyse des aliments offerts et refusés et des fèces. Maisons-Alfort - Dakar.
11. IEMVT. 1994. Programmes de calcul de la valeur alimentaire. Maisons-Alfort.
12. INRA, ITEB, EDE. 1981. Pratique de l'alimentation des bovins. 2ème ed. In : Nouvelles recommandations alimentaires de l'INRA. Paris. 156 p.
13. INRA. 1978. Alimentation des ruminants. Versailles. INRA. p.48 - 88.
14. JARRIGE R., 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Paris. INRA : 471 p.

15. LEFEVRE P., GUERIN H. 1991. Note sur la teneur en énergie brute des fourrages ligneux. Maisons-Alfort. IEMVT.
16. LHOSTE P., DOLLE V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1933. Les systèmes d'élevage. In: Collection manuels et précis d'élevage. France. Ministère de la coopération. 288 p.
17. Maydell H.S., 1990. Arbres et arbustes du Sahel : Leur caractéristiques et leurs utilisations. Weikersheim. Margraf. 531 p.
18. PURY P., 1969. Comment élever des moutons. Cameroun. Ed. Cle Yaoundé. 311 p.
19. RIVIERE R., 1972. Digestibilité - Valeur énergétique et ses modes d'expression. Maisons-Alfort. IEMVT. 65 p.
20. RIVIERE R., 1991. Alimentation des ruminants domestique en milieu tropicale. La documentation Française. Paris. IEMVT. 529 p.
21. SAUVANT D., AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., GIGER S., CHAPOUTOT P. 1978. Valeur nutritive des aliments concentrés simples. In: Alimentation des ruminants. Bull. Tech. C.R.Z. V. Theix, INRA, (70) p. 75 - 89.
22. YEM-YEM Z., 1972. La digestibilité de quelques fourrages sénégalais. Mémoire pour le certificat d'Etude Supérieures Agronomique. 53 p.

Figure 2-1 : *Ficus gnaphalocarpa*



Figure 2-2 : *Parkia biglobosa*

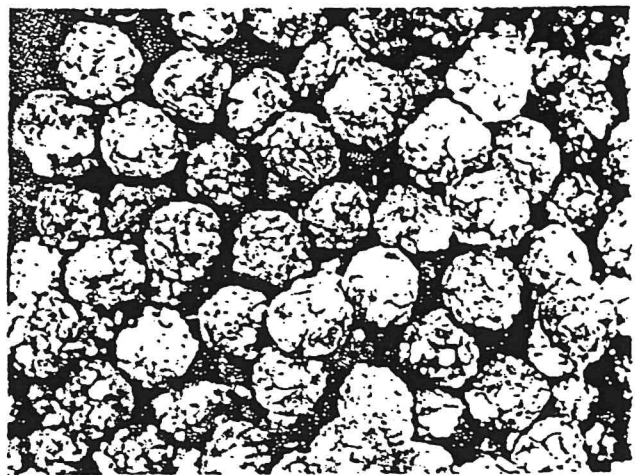
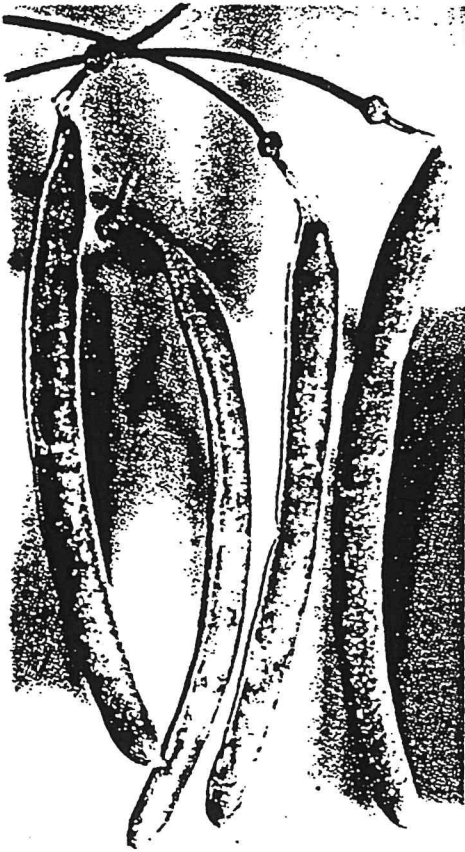


Figure 2-3 : *Acacia nilotica*

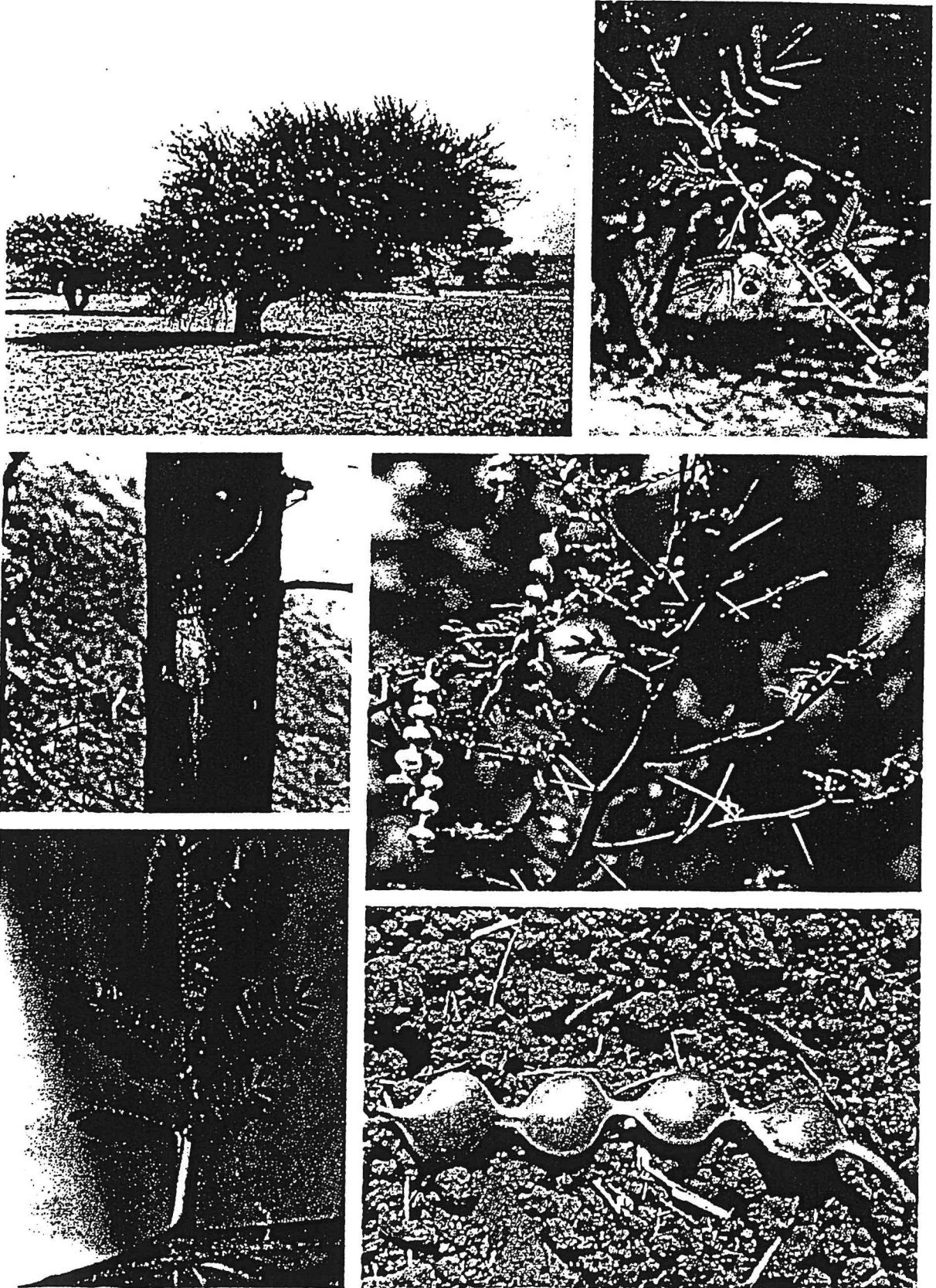


Figure 2-4 : *Mangifera indica*

