

ZV0000829

6

Séminaire Régional sur les Fourrages et l'Alimentation des Ruminants
I.R.Z. / I.E.M.V.T. - N'Gacoundéré (Cameroun) - 16-20 novembre 1987

(Etudes et synthèses de l'I.E.M.V.T. n°30 : 789 -809)

CONTRIBUTION A LA MISE AU POINT D'UNE METHODE D'ETUDE
DE LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES LIGNEUX

A.R. Koné*-**, H. Guerin* et D. Richard*-***

*I.E.M.V.T. - 10, rue Pierre Curie - 94704 Maisons-Alfort
Cedex France

**adresse actuelle : I.N.R.Z.F.H. - B.P. 1704 - Bamako - Mali

***adresse actuelle : L.N.E.R.V. - B.P. 2057 - Dakar
Sénégal

CONTRIBUTION A LA MISE AU POINT D'UNE METHODE D'ETUDE
DE LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES LIGNEUX

A.R. Koné*-**, H. Guerin* et D. Richard*-***

*I.E.M.V.T. - 10, rue Pierre Curie - 94704 Maisons-Alfort
Cedex - France

** adresse actuelle : I.N.R.Z.F.H. - B.P. 1704 - Bamako -
Mali

*** adresse actuelle : L.N.E.R.V. - B.P. 2057 - Dakar -
Sénégal

RESUME

En saison sèche les fourrages herbacés des régions sahéliennes et soudaniennes sont à l'état de pailles alors que les ligneux portent des feuilles vertes plus riches en MAT. Ils jouent **un** rôle important dans l'alimentation du bétail et il est donc nécessaire de connaître leur valeur nutritive.

La valeur nutritive d'un fourrage dépend de sa composition chimique, mais surtout de sa digestibilité.

Les méthodes in vivo ne peuvent **être** appliquées à **un** grand nombre d'échantillons et sont difficiles car il faut :

- utiliser la méthode des digestibilités différentielles
- distribuer du **matériel** sec dont les caractéristiques chimiques peuvent varier par rapport au fourrage vert.

Les mesures sur **pâturage** se heurtent aux difficultés liées à l'estimation des quantités de fourrage disponible et à celle des quantités ingérées.

On cherche donc à mettre au point des méthodes de laboratoire dont les résultats sont bien corrélés aux résultats de digestibilité in vivo. Le dosage de la cellulose brute et des matières azotées totales permet de prévoir avec une bonne précision la digestibilité de nombreux **fourrages** herbacés tempérés. Ce n'est **pas** le cas pour les fourrages ligneux pour lesquels il faut effectuer des analyses plus détaillées des parois (lignocellulose et lignine - méthode de Van Soest) et des matières azotées (**azote** soluble et azote résiduel de la lignocellulose). La mesure de la **dégradabilité** enzymatique ou in sacco dans le rumen de la matière organique **et/ou** des matières azotées sont d'autres méthodes de prévision de la digestibilité dont les résultats sont comparés à

ceux obtenus in vivo pour quelques échantillons à titre d'exemple. Le dosage des tanins **apparaît** indispensable pour mieux interpréter les variations de la valeur nutritive des fourrages ligneux.

Mots-clefs : FOURRAGE LIGNEUX ; DIGESTIBILITE ; MATIERE
ORGANIQUE ; AZOTE ; PREVISION ; SENEGAL ; MALI

ELABORATION OF A METHOD FOR STUDY OF THE NUTRITIVE VALUE OF
BROWSE FORAGES

A.R. Koné*^{***}, H. Guerin* et D. Richard*^{****}

*I.E.M.V.T. - 10, rue Pierre Curie - 94704 Maisons-Alfort
Cedex - France

**adresse actuelle : I.N.R.Z.F.H. - B.P. 1704 - Bamako - Mali

***adresse actuelle : L.N.E.R.V. - B.P. 2057 - Dakar -
Sénégal

SUMMARY

During the dry season the forage grasses of Sahelian and sudanian regions become straw whereas browse forages continue to carry green leaves which have a higher total protein content. These browse forages play an important role in cattle feeding and it is therefore necessary to know their nutritive value.

The nutritive value of a forage plant depends on its chemical composition and more especially its digestibility.

In vivo methods cannot be used to study a large number of samples. Moreover, there are difficult to use because :

- method of differential digestibilities must be used
- a dry material distribution must be organized and chemical characteristics can vary in comparison with green forage.

Pasture measures are difficult to establish because there are related to the evaluation of available forage quantities and ingested ones. It is therefore useful to elaborate laboratory methods which yield results that correlate well with those obtained from in vivo digestibility. An analysis of crude fiber and nitrogen content permits to obtain an accurate estimate of the digestibility of many forages in the temperate regions. It is not the case with browse forages because one has to carry out more detailed analyses of the walls (lignocellulose and lignin - Van Soest's method) and the nitrogen content (soluble nitrogen and residual nitrogen from ligno-cellulose). Measurement of enzymatic degradability or in sacco inside the rumen of the organic matter and/or nitrogen is another method for estimating digestibility. The applicability of this method in the case of browse plants is questionable.

Tanins analysis **is** essential for a better interpretation of nutritive values variations of browse **species**.

Keywords : BROWSE FORAGE ; DIGESTXIBILITY ; ORGANIC **MATTER** ;
NITROGEN ESTIMATION ; SENEGAL ; MALI

Introduction

En zones sahélienne et soudanienne, l'essentiel du disponible fourrager de saison sèche est constitué de pailles sur pied. Leurs teneurs moyennes en énergie, en azote et en minéraux ne permettent pas, en théorie, de couvrir les besoins d'entretien du cheptel.

Cependant, cette interprétation des résultats d'analyses de fourrages ne prend pas en considération :

- **l'hétérogénéité** de la végétation composée de graminées et de dicotylédones, dont la composition, même à l'état de paille, varie fortement en fonction des espèces et des organes.

- le comportement des animaux au **pâturage**, qui, par leurs choix alimentaires, se constituent une ration de valeur supérieure au fourrage moyen disponible.

- et enfin, la strate ligneuse dont la croissance est moins dépendante de la **pluviosité** que celle de l'herbe, et qui constitue, toute l'année, une source de fourrage vert riche en matières azotées.

Les fourrages ligneux existent aussi bien sur les parcours naturels que sur les terres cultivées où de nombreux rejets produisent des feuilles en saison sèche après les récoltes.

Malheureusement, la végétation ligneuse des régions arides et semi-arides intertropicales est souvent menacée par la sécheresse **et/ou** par une exploitation excessive. Son maintien ou sa restauration par une meilleure gestion des parcours ou par des programmes de reboisement sont tentés ça et là. **Mais** le choix des **espèces** multipliées repose uniquement sur des **critères** agronomiques car les données sur leur valeur nutritive sont peu nombreuses.

Les équations de prévision de la valeur nutritive mises au point pour les fourrages **herbacés** ne peuvent être appliquées aux ligneux car ces derniers **présentent** des caractéristiques chimiques (teneur en **lignine** élevée par exemple) et botaniques (cycles des feuilles de ligneux différents de ceux des espèces herbacées) qui les distinguent des fourrages classiques. Il **apparaît** donc nécessaire (**Koné** 1987) :

- d'identifier et de **hiérarchiser** les facteurs de variation de la **digestibilité** des ligneux

- de mettre au point une méthode spécifique de prévision de leur valeur nutritive.

Matériel et méthodes

Cent quatre échantillons principalement de feuilles (n=93), mais aussi de fleurs, de gousses et de jeunes rameaux, ont été utilisés. Ils provenaient du Mali et du Sénégal et appartenaient à 20 familles dont trois de légumineuses et à 55 espèces.

Ces échantillons ont été séchés à l'air libre puis broyés à travers une grille de 1 mm et envoyés au Laboratoire.

Par ailleurs, 14 échantillons ont fait l'objet d'essais de digestibilité in vivo sur moutons selon la méthode habituellement appliquée au LNERV à Dakar. Les animaux (6 par essai) étaient des moutons mâles de race peul-peul en croissance dont le poids moyen a varié de 20 à 35 kg. Pendant toute la durée des essais (14 jours d'adaptation au régime et 6 jours de mesures) l'eau de boisson était distribuée à volonté et les animaux recevaient systématiquement une complémentarité minérale. Les Echantillons représentatifs du fourrage offert, refusé et des fèces correspondantes ont été séchés à 80°C puis broyés comme précédemment. Les feuilles de ligneux ont été distribuées soit seules (3 essais) soit en association avec une paille de riz de digestibilité connue. Dans le deuxième cas, la digestibilité du fourrage ligneux, qui représentait de 20 à 50 p.100 de la ration, était calculée par différence.

Tous les échantillons de fourrage et de fèces correspondant aux essais de digestibilité ont été analysés pour les composants suivants :

- cendres,
- constituants pariétaux :
 - . cellulose brute de Weende (CB)
 - . parois totales (NDF de Van Soest 1963)
 - . lignocellulose (ADF " " " ")
 - . lignine (ADL de Van Soest 1.963)
- matières azotées totales et différentes fractions azotées:
 - . azote soluble (méthode de Durand in Demarquilly et Verité 1978)
 - . azote résiduel de la lignocellulose (Nadf)

Ce fractionnement permet d'estimer la proportion d'azote immédiatement (1) disponible pour la flore du rumen

 (1) L'azote total disponible pour la flore est plutôt estimé par la dégradabilité enzymatique ou in sacco

(N soluble), celle réputée indigestible (Nadf - Van Soest 1982 - Chase 1987) et celle non soluble et non liée à l'ADF ((N total-N soluble)/N adf) qui peut être grossièrement assimilée à de l'azote digestible dans l'intestin grêle.

La dégradabilité enzymatique de la matière organique a été mesurée par une méthode utilisant la cellulase "Onozuka R10" et la pepsine "Merck n°7190, 200 FIP. U/g" (Aufrère 1982).

La pepsine et une protéase (extraite de Streptomyces griseus - Sigma type IX) ont également été utilisées pour mesurer la dégradabilité des matières azotées.

La vitesse de digestion et la digestion potentielle dans le rumen de la matière sèche et des matières azotées ont été étudiées par la méthode in sacco appliquée à des chèvres (Koné, Chapoutot, Sauvart - en cours de publication).

Les résultats ont été traités à l'aide du logiciel statistique STAT-ITCF. Pour ce traitement, on a distingué trois groupes d'échantillons : les gousses de légumineuses (n = 8 à 13-(1)) les feuilles de légumineuses (n=22 à 24-(1)) et celles d'autres familles (n=52 8 67-(1)).

Quelques résultats

Composition chimique

. Teneurs moyennes en constituants pariétaux (tableau 1)

Les teneurs en cellulose brute, en NDF et en ADF des fourrages ligneux sont inférieures à celles des fourrages herbacés même si ces dernières sont à l'état vert. Par contre, les teneurs en lignine, très variables (de 5 à 23 p.100 de la matière sèche) sont largement supérieures à celles des graminées et égales, en moyenne, à celles des pailles de légumineuses.

Ces deux comparaisons indiquent que les parois des fourrages ligneux sont plus lignifiées que celles des fourrages herbacés. Cela peut être exprimé par le calcul du rapport

$$\frac{ADL}{NDF} \text{ ou } \frac{ADL}{ADF}$$

Les parois des feuilles sont plus lignifiées que celles des gousses : en effet, à teneurs égales en lignine, ces dernières sont plus riches en NDF et en ADF, donc en hémicellulose et en cellulose.

(1) Certaines analyses n'ont pas été faites sur tous les échantillons

Tableau 1 : Composition chimique des fourrages ligneux. Comparaison avec les graminées et les légumineuses herbacées des parcours naturels

| | L I G N E U X | | | | | | | | Gousses de légumineuses | | | | H E R B A C E E S | | | | |
|--|---------------|----|-----|-----|-----------------|----|-----|-----|-------------------------|----|-----|-----|-------------------|---------|--------------------------|---------|--|
| | Feuilles | | | | | | | | | | | | Graminées | | Légumineuses (2 espèces) | | |
| | Légumineuses | | | | Autres familles | | | | x | s | min | max | verres | pailles | vertes | pailles | |
| | x | s | min | max | x | s | min | max | | | | | | | | | |
| <u>Constituants pariétaux</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| p.100 de MS) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| . cellulose brute | 23 | 6 | 10 | 32 | 22 | 6 | 9 | 35 | 27 | 7 | 15 | 38 | 27 - 35 | 35 - 44 | 22 - 30 | 43 - 47 | |
| . parois totales | 41 | 9 | 17 | 54 | 40 | 9 | 21 | 62 | 51 | 13 | 25 | 67 | 60 - 70 | 74 - 84 | 39 - 52 | 65 - 70 | |
| . lignocellulose | 33 | 7 | 15 | 44 | 30 | 7 | 16 | 48 | 35 | 10 | 18 | 48 | 34 - 40 | 48 - 54 | 30 - 38 | 46 - 66 | |
| . lignine | 13 | 4 | 5 | 21 | 11 | 5 | 3 | 23 | 11 | 4 | 5 | 18 | 4 - 6 | 4 - 10 | 6 - 9 | 10 - 13 | |
| <u>Matières azotées (Nx6,25)</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| . Matières azotées totales | 13 | 3 | 4 | 18 | 12 | 4 | 5 | 22 | 13 | 3 | 4 | 21 | 9 - 14 | 2 - 3 | 15 - 20 | 8 - 13 | |
| (p.100 de MS) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| . Matières azotées solubles (p.100 de MAT) | 18 | 7 | 6 | 30 | 21 | 13 | 5 | 58 | 37 | 17 | 16 | 67 | 30 - 32 | 33 | 23 - 26 | 31 - 43 | |
| . Matières azotées résiduelles de la lignocellulose (p.100 de MAT) | 18 | 11 | 6 | 58 | 16 | 10 | 2 | 42 | 12 | 6 | 4 | 23 | 6 - 13 | 9 - 35 | 7 | 10 - 21 | |

. Teneurs moyennes en matières azotées (tableau 1)

Les teneurs moyennes en MAT (N x 6,25) des fourrages ligneux sont du même ordre de grandeur que celles des fourrages herbacés en saison des pluies, mais très supérieures à celles des pailles de graminées.

La valeur azotée d'un fourrage ne dépend cependant pas uniquement de sa teneur en MAT. Elle est aussi fonction d'une part, de la solubilité ou mieux de la dégradabilité dans le rumen des matières azotées et d'autre part de la digestion dans l'intestin grêle des protéines alimentaires non dégradées dans le rumen.

La solubilisation des MAT est une étape essentielle de dégradation dans le rumen ; elle conditionne le flux d'azote microbien entrant dans le duodénum si la teneur en énergie fermentescible de l'aliment ne limite pas la synthèse des protéines microbiennes (INRA 1978). La solubilité (Durand) des MAT des feuilles de ligneux étudiées est très variable (de 5 à 67 p.100) et plus faible que celle des herbes vertes : elle est de 14 p.100 en moyenne pour les feuilles de légumineuses et de 21 p. 100 pour les feuilles des autres familles alors que celles des herbacées est comprise entre 23 et 32 p.100 (tableau 1).

Inversement, une proportion importante des MAT reste insoluble dans les détergents neutres et acides servant au dosage des parois (Van Soest 1963) et se retrouve dans le résidu ADF et est réputée indigestible. Cette fraction azote-e représente 2 à 58 p.100 des MAT suivant les Echantillons (en moyenne 16 à 18 p.100 des MAT) et, à teneurs en MAT égales, elle est plus grande dans les feuilles de ligneux que dans les fourrages herbacés.

Les teneurs relativement élevées en lignine (ADL) des espèces ligneuses sont responsables pour une grande part du blocage des matières azotées au niveau de l'ADF (MAadf) (Koné 1987). Cependant les teneurs élevées en MAadf peuvent être également dues :

- à des réactions de Maillard, lorsque les échantillons ont été séchés à l'étuve. Cette réaction qui débute à partir d'une température de l'ordre de 60°C (Van Soest 1982 ; Weiss et al 1986) entraîne la condensation des sucres et des acides aminés dans le rapport 1/1. L'azote ainsi lié est récupéré dans les résidus pariétaux, ADF et ADL, ce qui conduit à une surestimation de ces résidus (Van Soest 1965 ; Goering et Van Soest 1979). Il faut toutefois rappeler ici que ces réactions sont surtout importantes lors du séchage de fourrages humides à l'étuve, ce qui n'a été le cas que pour les échantillons dont on a mesuré la digestibilité in vivo. Il est donc vraisemblable que les fortes teneurs en MAadf enregistrées s'expliquent par d'autres causes exposées ci-dessous.

• à la précipitation des **protéines** par des substances phénoliques (tanins). Il est cependant difficile de faire la part des matières azotées **liées** physiquement à la lignine qui est de l'ordre de 7 p.100 des MAT pour les fourrages herbacés (Van Soest 1965) et de celles insolubles dans les **détergents** acides par suite d'une condensation protéine-tanin.

Il est à noter pour les **légumineuses** que les **caractéristiques** moyennes des **matières azotées** des gousses diffèrent moins de celles des herbacés que ce qui est observé pour les feuilles.

Ces commentaires généraux sur les moyennes ne rendent pas compte de la variabilité de la composition chimique des ligneux déjà mise en évidence au tableau 1 par les valeurs des écarts-types et des **extrêmes**. Les tableaux suivants explicitent cette variabilité à l'intérieur d'une famille (Mimosaceae - tableau 2), d'un genre (Acacia - tableau 2 ou Combretum - tableau 3), d'une espèce en fonction de l'organe (Acacia albida - tableau 2) ou encore du mois de récolte, du stade de développement et de l'âge des organes (tableau 4).

Les résultats présentés ne correspondent pas à un protocole **d'échantillonnage mais plutôt à** des collectes occasionnelles de feuilles ou de gousses consommées par les ruminants en milieu ou en fin de saison sèche.

L'examen **détailé** des tableaux 2, 3, 4 montre que l'analyse des parois par la méthode de Van Soest et le fractionnement des matières azotées différencient beaucoup plus les ligneux entre eux que le simple dosage de la cellulose brute et des matières azotées.

• Dégradabilité enzymatique, **dégradabilité in sacco** et digestibilité in vivo

Les tableaux 2, 3, 4 montrent, à travers les quelques exemples qui y sont présentés, les importants écarts entre les espèces ligneuses des valeurs **énergétiques** et azotées, exprimés ici par les résultats des trois méthodes in vivo, in sacco, enzymatique, d'estimation de la digestibilité. Certains exemples montrent, certes qualitativement, les liaisons existant entre les caractéristiques chimiques et la digestibilité :

• les jeunes feuilles de Combretum aculeatum (tableau 3) ont une faible teneur en lignine ; leurs **matières azotées** (17 p.100 de MS) sont **aussi** solubles que celles des fourrages herbacés et peu bloquées au niveau de la **lignocellulose**. Ces **caractéristiques confèrent** à cet échantillon une bonne dégradabilité enzymatique (85 p.100).

Tableau 2 : Composition chimique, dégradabilité enzymatique et digestibilité in vivo des feuilles vertes et des gousses de cinq espèces de Mimosaceae

| | ESPECES SPONTANÉES | | | | | ESPECES INTRODUITES | |
|---|--------------------|----------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| | Feuilles | | Gousses | | | Feuilles | |
| | Acacia albida | Acacia acyrosa | Acacia ataxacantha | Acacia albida | Acacia nilotica | Acacia linarioides | Leucaena leucocephala |
| Constituants pariétaux (p.100 MS) | | | | | | | |
| cellulose brute | 16 | 28 | 16 | 31 29 | 15 | 29 | 23 |
| lignocellulose (ADF) | 20 | 42 | 32 | 36 34 | 18 | 50 | 27 |
| lignine | 9 | 17 | 17 | 9 9 | 6 | 30 | 9 |
| Matières azotées | | | | | | | |
| Matières azotées totales -MAT- (p.100 MS) | 16 | 13 | 14 | 12 11 | 12 | 14 | 18 |
| Matières azotées solubles (p.100 MAT) | 16 | 13 | 10 | 39 | 30 | 16 | 20 |
| Matières azotées résiduelles de l'ADF (p.100 MAT) | 10 | 11 | 35 | 7 10 | 5 | 29 | 10 |
| Dégradabilité enzymatique | | | | | | | |
| de la matière organique (p.100 MO) | 44 | 54 | 29 | 50 61 | 67 | 32 | 50 |
| des matières azotées (p.100 MAT) | 61 | 76 | 9 | 73 | 79 | | |
| Dégradabilité in sacco | | | | | | | |
| de la matière sèche (p.100 MS) | 75 | 80 | 40 | 46 | 83 | 46 | |
| des matières azotées (p.100 MT) | 84 | 48 | 11 | 18 (1) | 78 | 41 | |
| Digestibilité in vivo | | | | | | | |
| de la matière organique (p.100 MO) | | | -5 | 49 | - | 36 | 67 |
| des matières azotées (p.100 MAT) | | | -20 | 18 | - | 36 | 65 |

(1) Il faut préciser ici que lorsque la teneur en MAT est faible et la dégradabilité in sacco de la MS également faible, la dégradabilité in sacco des MT peut être très sous-estimée par suite de contaminations microbiennes importantes

Tableau 3 - Composition chimique, dégradabilité enzymatique et digestibilité in vivo de feuilles vertes de cinq espèces de Combretum

| | Combretum aculeatum | Combretum glutinosum | Combretum lecardii | Combretum micranthum | Combretum nigricans |
|--|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| Constituants pariétaux (p.100 MS) | | | | | |
| . cellulose brute | 17 | 21 | 23 | 28 | 26 |
| . lignocellulose (ADF) | 22 | 28 | 43 | 32 | 32 |
| . lignine | 6 | 7 - 9 | 15 | 9 | 7 |
| Matières azotées | | | | | |
| . matières azotées totales (p.100 MS) MAT | 17 | 9 = 10 | 9 | a | 12 |
| . matières azotées solubles (p.100 MAT) | 27 | 21 = 25 | 10 | 1b | 24 |
| . matières azotées résiduelles de l'ADF (p.100 MAT) | 3 | 9 - 17 | 24 | 16 | 18 |
| Dégradabilité enzymatique | | | | | |
| . de la matière organique (p.100 MO) | 75 | 48 = 55 | 33 | 52 | 52 |
| . des matières azotées (p.100 MAT) | 76 | 40 = 71 | 26 | 59 | |
| Dégradabilité in sacco | | | | | |
| . de la matière sèche (p.100 MS) (24 heures) | | | 70 | 61 | 61 |
| . des matières azotées (p.100 MT) | | | 43 | 56 | 53 |
| Digestibilité in vivo | | | | | |
| . de la matière organique (p.100 MO) | | | | | 46 |
| . des matières azotées (p.100 MAT) | | | | | 70 |

Tableau 4 - Composition chimique, dégradabilité enzymatique et digestibilité in vivo de feuilles de cinq espèces : intervalles de variation en fonction de l'âge et du mois de récolte

| | Adansonia digitata n = 2 | Boscia senegalensis n = 4 | Calotropis procera n = 2 | Guiera senegalensis n = 5 | Piliostigma sp n = 4 |
|--|---|--|---|--|-------------------------------------|
| <u>Constituants pariétaux (p.100 MS)</u> | | | | | |
| . cellulose brute | 10 - 16 | 16 - 21 | 14 - 15 | 22 = 30 | 26 = 29 |
| . lignocellulose (ADF) | 16 - 31 | 26 - 31 | 22 = 24 | 35 = 46 | 31 = 44 |
| . lignine | 6 = 14 | 10 - 13 | 7 - 1 | 14 = 23 | 12 = 21 |
| <u>Matières azotées</u> | | | | | |
| . matières azotées totales (p.100 MS) MAT | 13 - 15 | 16 = 21 | 6 - 13 | 7 = 20 | 4 - 9 |
| . matières azotées solubles (p.100 MAT) | 13 = 24 | 47 - 58 | 28 = 46 | 11 = 22 | 7 - 17 |
| . matières azotées résiduelles de l'ADF (p.100 MAT) | 7 = 20 | 4 - 8 | 6 = 11 | 10 = 40 | 27 = 57 |
| <u>Dégradabilité enzymatique</u> | | | | | |
| . de la matière organique (p.100 MO) | 49 = 52 | 52 = 60 | 79 = 83 | 23 = 41 | 31 = 38 |
| . des matières azotées (p.100 MAT) | 45 = 52 | 76 = 93 | 82 = 83 | 20 = 35 | 19 = 48 |
| <u>Dégradabilité in sacco</u> | | n = 1 | | | a = 3 |
| . de la matière sèche (p.100 MS) | | 55 | | | 49 = 63 |
| . des matières azotées (p.100 MAT) | | 83 | | | 29 = 60 |
| <u>Digestibilité in vivo</u> | | | | | n = 2 |
| . de la matière organique (p.100 MO) | | | | | 33 = 38 |
| . des matières azotées (p.100 MAT) | | | | | -2 = 11 |

* les feuilles âgées de Combretum lecardii ont des caractéristiques chimiques inverses qui correspondent à une faible dégradabilité enzymatique. Cependant la dégradabilité in sacco de cet échantillon est élevée. Cette apparente contradiction donne l'occasion de rappeler la complexité des méthodes employées ainsi que la nécessité de récolter plusieurs échantillons et d'effectuer plusieurs mesures sur une même espèce avant de porter un jugement sur sa valeur nutritive.

- les feuilles de Leucaena leucocephala (tableau 2) sont moyennement lignifiées et bien pourvues en MAT, modérément solubles et peu liées à l'ADF. Sa valeur nutritive mesurée in vivo est bonne, conformément aux nombreux résultats de la biliographie. Cependant, il faut préciser que lors des essais in vivo, les moutons qui ont consommé le Leucaena comme seul aliment ont manifesté des troubles liés à la présence de mimosine.

* inversement, Acacia linarioides, espèce australienne introduite en Afrique soudanienne, a une forte teneur en lignine (29 p.100 de la matière sèche) qui est responsable du blocage de 30 p.100 des matières azotées au niveau de la lignocellulose. La digestibilité de la matière organique et des matières azotées mesurée in vivo ou estimée par les méthodes enzymatiques ou in sacco est faible.

* de même, l'Acacia ataxacantha, pourtant moins riche en lignine mais dont l'azote semble peu disponible au vu de l'analyse chimique, a une digestibilité très faible, voire nulle, d'après les résultats obtenus in vivo. Les critères chimiques examinés dans cette étude ne suffisent cependant pas à expliquer une aussi médiocre valeur nutritive. Il est probable que des teneurs élevées en tanins et/ou en substances toxiques limitent la digestion microbienne et/ou enzymatique. Des symptômes d'intoxication ont d'ailleurs été observés avec cette espèce comme avec le Leucaena.

. Tentatives de mise au point d'équations de prévision de la digestibilité

Toutes ces différences montrent la nécessité de mettre au point des méthodes de prévision de la valeur nutritive des fourrages ligneux. A partir des résultats obtenus in vivo sur moutons et au laboratoire nous avons donc cherché à établir des équations de régression entre la digestibilité de la matière organique et des matières azotées et les caractéristiques chimiques des échantillons. Les essais in vivo n'étant qu'au nombre de 9, les relations calculées entre les deux groupes de résultats ne sont qu'indicatrices des méthodes les plus performantes et elles devront être étayées par de nouveaux essais. Etant trop imprécises pour pouvoir être appliquées, elles ne sont pas présentées.

La teneur en MAT des échantillons étudiés in vivo a varié de 8,6 à 18,1 p.100 de la MS suivant les échantillons. Les teneurs en constituants pariétaux ont varié de :

38,9 à 59,6 pour le NDF
 26,7 à 55,9 pour l'ADF
 7,3 à 34,4 pour l'ADL
 16,4 à 31,2 pour la cellulose brute

La digestibilité de la matière organique (dMO) et des matières azotées (dMA) calculées par différence, ont été comprises entre -5 et 67 p.100 et entre -20 et 70 p.100 respectivement.

Contrairement à ce qui est observé avec les fourrages herbacés de zone tempérée, les teneurs en CB et MAT ne permettent pas d'estimer avec suffisamment de précision la digestibilité des fourrages ligneux. Avec ces deux variables explicatives, l'écart-type résiduel (ETR) de la dMO est égal à 14,4 points de digestibilité ce qui correspond à 0,2 UFL/kg MS environ.

La précision est nettement améliorée si la teneur en MAT est remplacée par celle en matières azotées non liée à l'ADF (MAT-MAadf) (ETR = 5,7) et, peut-être, par celle en azote insoluble non liée à l'ADF (MAT-MAS-MAadf) représentant grossièrement les matières azotées d'origine alimentaire digestibles dans l'intestin grêle (PDIA).

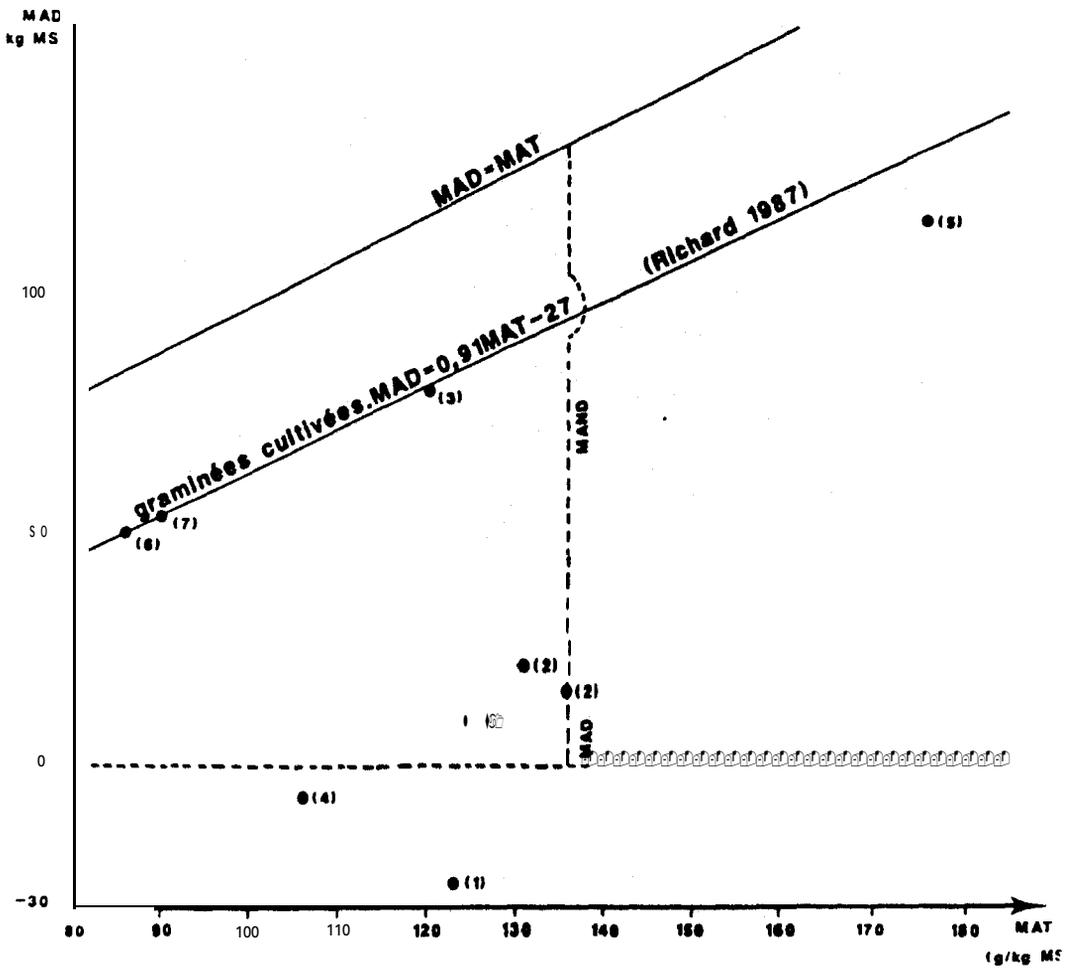
Cependant, rappelons que ces relations ont été établies à partir d'un nombre très limité d'essais in vivo exécutés dans des conditions expérimentales imparfaitement maîtrisées. De nouveaux résultats sont donc indispensables à la mise au point d'équations de prévision de la digestibilité.

La teneur en cellulose brute de Weende (CB) et sa digestibilité varient dans le même sens ($r = 0,73$), ce qui est inhabituel. En revanche, il n'y a pas de liaison significative entre les teneurs en constituants pariétaux (NDF et ADF) dosés par la méthode de Van Soest (1963) et leurs digestibilité. Toutefois la combinaison de NDF et ADF avec le degré de lignification de l'ADF (ADL) permet de

calculer des coefficients de corrélation multiple significatifs : $R = 0,77$ et $0,84$ respectivement pour NDF et ADF.

Contrairement à ce que l'on observe sur les fourrages classiques, la liaison entre les teneurs en matières azotées totales (MAT) et les teneurs en matières azotées digestibles (MAD) est lâche ($n=9$) ; ($r = 0,70$). La figure 1 montre que pour une même teneur en MAT les teneurs en MAD de certains fourrages ligneux sont inférieures à celles des graminées et qu'inversement celles en matières azotées non digestibles (MAND) sont élevées. Les variations des teneurs en MAND sont

Figure 1 : Teneur en MAD en fonction des teneurs en MAT pour 9 essais In vivo sur fourrage ligneux. Régression entre les teneurs en MAD et en MAT pour 92 essais sur graminées cultivées



Remarque : Dans cette figure on peut observer que les espèces 3-6-7 et, à un nombre de degré. 5. ont des teneurs en MAD voisines de celles trouvées chez les graminées cultivées de même teneur en MAT. La digestibilité de leurs matières azotées est donc normale Il n'en est pas de même pour les espèces 1, 2 et 4 donc les MAT sont très peu (espèce 2) ou pas digestibles (espèces 1 et 4)

- (1) Acacia ataxacantha
 (2) Acacia linarioides
 (3) Combretum nigricans
 (4) Heeria insignis

- (5) Leucaena leucoccephala
 (6) Piliostigma thonningii
 (7) Piliostigma reticulatum

assez bien expliquées ($r=0,86$) par celles en matières azotées résiduelles de l'ADF, réputées indigestibles (MAadf) et, en conséquence, il est possible d'établir une liaison étroite ($r = 0.91$) entre les MAD et les matières azotées diminuées des MAadf (MAT = MAadf).

En revanche, la teneur en matières azotées solubles n'est pas un meilleur prédicteur de la digestibilité ou de la dégradabilité des matières azotées que la teneur en MAT.

On sait de plus que la présence de tanins affecte la digestibilité des matières azotées. Les complexes tanins-protéines se retrouvent d'ailleurs dans les résidus ADF et ADL. Les tanins inhibent plus ou moins complètement le système enzymatique de l'animal, ce qui explique que la dMO soit également diminuée par leur présence. Ils n'ont pas été dosés pour cette étude, mais ils devraient l'être dans le cadre d'un programme de recherche plus général sur les ligneux fourragers.

Conclusion

Les 104 échantillons de feuilles et de fruits d'arbres ou d'arbustes fourragers que nous avons étudiés appartenaient à 20 familles botaniques et 55 espèces.

Cette diversité a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de la composition chimique des fourrages ligneux : à titre d'exemple, leurs teneurs en matières azotées sont comprises entre 44 et 250 g/kg MS et celles en lignine entre 32 et 223 g/kg MS.

Au-delà de ces critères analytiques simples, des différences importantes apparaissent au niveau du fractionnement des matières azotées en fonction de leur solubilité ou encore du degré de lignification des parois végétales.

Tous ces paramètres chimiques font varier dans de fortes proportions la valeur nutritive des fourrages ligneux, qu'elle soit étudiée par des méthodes enzymatiques, des essais de digestibilité in vivo ou des mesures de dégradabilité in situ dans le rumen.

Outre la mise en évidence des facteurs de variation de la valeur nutritive des fourrages ligneux, notre objectif était de mettre au point une méthode de laboratoire simple pour estimer la digestibilité de la matière organique et des matières azotées.

Le choix d'une méthode ne pouvait reposer que sur une comparaison des résultats obtenus au laboratoire et in vivo. Ces derniers n'étant qu'au nombre de neuf, les relations que

nous avons établies entre les deux types de résultats ne sont qu'indicatrices des méthodes les plus performantes et devront être étayées par de nouvelles expérimentations. Cependant, il ressort des résultats que les dosages des constituants pariétaux selon la méthode de Van Soest et ceux de l'azote soluble ou encore des matières azotées résiduelles de l'ADF semblent les plus utiles. Au contraire, les mesures de dégradabilité enzymatique, tant par la cellulase que la pepsine ou la protéase n'ont pas permis d'améliorer la précision de l'estimation de la dMO par rapport aux méthodes chimiques. Notons toutefois que la dégradabilité de la matière sèche dans le rumen est plus étroitement liée à la dégradabilité pepsine--cellulase qu'aux teneurs en constituants pariétaux.

Enfin, compte tenu des particularités chimiques des fourrages ligneux, il était important, principalement pour les matières azotées, d'évaluer la part de la digestion qui a lieu dans le rumen et, par différence, dans l'intestin. Les résultats obtenus par la méthode in sacco ont fait apparaître d'importantes différences entre les espèces, tant au niveau de la dégradabilité potentielle (estimée 'après 48 heures d'incubation) qu'à celui des cinétiques de disparition de la matière sèche comme des matières azotées dont on connaît l'importance sur, d'une part, l'ingestibilité des fourrages et, d'autre part, sur la nutrition azotée de la flore microbienne et du ruminant lui-même (Koné, Chapoutot, Sauvart - en cours de publication).

Au total, ces résultats donnent des indications sur les méthodes à privilégier pour une étude plus générale sur la valeur nutritive des ligneux. Une telle étude devra reposer sur des protocoles d'échantillonnage très méticuleux pour permettre la mise en évidence de facteurs variés agissant sur la valeur nutritive tels que l'âge des organes, la saison etc. et également la cueillette sélective effectuée par l'animal. Le dosage des tanins devra être effectué en plus des méthodes d'analyses déjà employées.

Pour en savoir plus :

KONE A.R. : Valeur nutritive des ligneux fourragers des zones sahélienne et soudanienne d'Afrique occidentale - Recherche d'une méthode simple d'estimation de la digestibilité et de la valeur azotée.
Thèse de Doctorat de 3e cycle - Université Pierre et Marie Curie, Paris VI soutenue le 21 décembre 1987, 205 p.

Bibliographie

CHASE L.E., 1987 - Heat. damaged **nitrogen** : why worry about it ? *Feedstuffs*, vol. 59, n.19 : p.18-19, 37.

GOERING H.K. et VAN SOEST P.J. - 1970 - Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, **procedures** and some applications), *Agriculture Handbook United States Department of Agriculture*, n.379 ; 1-20.

RICHARD D.- 1987 - Valeur alimentaire de quatre graminées fourragères en zone tropicale. **Thèse** 3e cycle, Univ. **Paris-IEMVT** ; 314p.

VAN SOEST P.J.- 1963 - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 1. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *Journal of the A.O.A.C.*, vol.46 ; n.5 ; 825-835.

VAN SOEST P.J. - 1965 - Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of **effects of heating** and drying on yield of fiber and lignin of forages. *Journal of the A.O.A.C.*, vol. 48 ; n.4 ; 785-790.

VAN SOEST P.J. - 1982 - Refractory and inhibitory substances, in : *Nutritional ecology of the ruminant*, O. and B. **Boocks**, Inc., Corvallis, OR., p.118.

VERITE R., DEMARQUILLY C. - 1978 - Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants, in : *La Vache Laitière*, IX Journées du Grenier de Theix, INRA ; 143-158.

WEISS W.P., CONRAD H.R., SHOKEY W.L. - 1986 - Digestibility of nitrogen in heat-damaged alfalfa. *J. Dairy Sci.*, vol.69 ; 2658.

Nous tenons à remercier Monsieur Camille DEMARQUILLY du C.R.Z.V. de Theix et Monsieur Daniel SAWANT de l'INA-PG, de leurs précieux conseils et de leur disponibilité tout au long de l'exécution des travaux.