

I. N. R. A.
BIBLIOTHEQUE UO 3593
DOMAINE DE CROUELLE
63039
CLERMONT-FD CEDEX 2

L'INDICE DE FIBROSITÉ DES FOURRAGES : SA SIGNIFICATION ET SON UTILISATION POUR LA PRÉVISION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES

M. CHENOST ⁽¹⁾ et Élisabeth GRENET
avec la collaboration technique de Marie JAILLER

*Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants,
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I. N. R. A.,
63 - Saint-Genès-Champagnelle*

RÉSUMÉ

L'indice de fibrosité des fourrages, dont la méthode de mesure a été mise au point antérieurement (CHENOST, 1966), reflète leur composition morphologique (pourcentage de feuilles), leur composition chimique (proportion de constituants membranaires) et leur aptitude à être réduits en fines particules dans le rumen (digestibilité en sachet, temps passé par l'animal à mastiquer).

Le fait d'associer à l'indice de fibrosité un autre critère simple de la prévision de la valeur nutritive et alimentaire des fourrages, tel que le pourcentage de feuilles ou la teneur en cellulose Weende, permet d'améliorer la précision des résultats obtenus avec l'indice de fibrosité seul ou à l'aide de ces critères considérés séparément.

Nous avons calculé à partir de 152 fourrages, de famille botanique et de cycles végétatifs différents, les équations de régression liant la digestibilité, la quantité de matière sèche ingérée et la quantité de matière organique digestible ingérée à l'ensemble indice de fibrosité-cellulose Weende. On améliore les liaisons en considérant séparément les graminées du 1^{er} cycle et l'ensemble des graminées.

INTRODUCTION

Dans un travail précédent (CHENOST, 1966) nous avons essayé de relier la valeur alimentaire des fourrages à leurs caractéristiques physiques. Nous avons mis en évidence, ainsi que TROELSEN et BIGSBY (1964) et TROELSEN *et al.* (1969, 1970), que l'aptitude d'un fourrage à être réduit en fines particules après une action mécanique est en

⁽¹⁾ Adresse actuelle : Station de Recherches zootechniques, Centre de Recherches agronomiques des Antilles et de la Guyane, Domaine Duclos, Petit-Bourg (Guadeloupe).

liaison étroite avec la quantité qui peut en être ingérée par le ruminant. Nous avons trouvé une bonne relation entre la digestibilité ou les quantités ingérées d'une part et l'indice de fibrosité défini par l'énergie électrique dépensée pour broyer une prise de 5 g de fourrage d'autre part. Nous avons voulu voir s'il était possible de préciser la signification de l'indice de fibrosité et d'améliorer la prévision de la valeur alimentaire, en lui associant d'autres critères simples, tels que la teneur en matières azotées, en cellulose brute ou en lignocellulose, la composition morphologique ou la digestibilité *in vitro* ou en sachets de nylon.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Fourrages

Nous avons utilisé :

— d'une part : 34 échantillons de fourrages verts de graminées récoltés au 1^{er} cycle de croissance dont nous connaissons la composition chimique (constituants membranaires, cellulose brute, matières azotées et cendres), la composition morphologique, la digestibilité et les quantités ingérées par le mouton.

— d'autre part : 152 échantillons de foins et fourrages verts de graminées et légumineuses dont nous connaissons la digestibilité et la quantité ingérée par le mouton et les teneurs en cellulose brute, matières azotées et cendres.

Méthodes

Nous avons mesuré l'indice de fibrosité de tous les échantillons selon la technique décrite antérieurement (CHENOST, 1966) mais nous avons utilisé un wattmètre (Guerpillon) différent ; l'unité d'indice de fibrosité n'est plus 1/10 wh mais $0,2928 \frac{\text{wh}}{10}$.

Nous avons soumis le 1^{er} groupe des 34 échantillons de fourrages verts au test de digestion dans le rumen par la méthode des sachets de nylon (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969 ; CHENOST *et al.*, 1970), au test de digestion *in vitro* par la méthode de TILLEY et TERRY (1963) et à l'attaque par la cellulase (JARRIGE et THIVEND, 1969 ; JARRIGE *et al.*, 1970). Nous avons dosé, en outre, leur teneur en membranes, cellulose vraie, hémicelluloses et lignine par la méthode de fractionnement glucidique de JARRIGE (1961) ainsi que la lignocellulose (ADF de VAN SOEST, 1963).

Pour 13 de ces fourrages, nous avons mesuré par enregistrement des mouvements de la mâchoire selon la méthode de RUCKEBUSCH et MARQUET (1963) les temps d'ingestion, de rumination et de mastication (ingestion + rumination) des moutons que nous avons exprimés en mn par kg de matière sèche ingérée.

Abréviations utilisées

Dans les tableaux, nous utiliserons les abréviations suivantes :

IF	Indice de fibrosité
CB	Cellulose brute Weende
MAT	Matières azotées totales
ADF	Lignocellulose de VAN SOEST
DIV	Digestibilité <i>in vitro</i> (p. 100)
CUD sachets	Digestibilité <i>in vivo</i> (p. 100) par la méthode des sachets de nylon
F	Pourcentage de feuilles du fourrage
T + E	Pourcentage de « tiges + épis » du fourrage

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Signification de l'indice de fibrosité

Nous avons calculé les coefficients de corrélation simples et multiples permettant de mettre en parallèle l'indice de fibrosité avec les différentes caractéristiques des 34 fourrages, prises seules ou associées par 2 ou par 3 (tabl. 1).

Les meilleures liaisons sont obtenues avec la proportion de feuilles ($-0,863$), la teneur en cellulose Weende ($+0,812$), la teneur en membranes ($+0,836$), l'ADF ($+0,823$) et la teneur en lignocellulose ($+0,777$) ; elles montrent que l'indice de fibrosité d'un fourrage augmente avec la proportion de tiges et la teneur en constituants membranaires.

Le fait d'associer la proportion de feuilles aux critères membranaires, notamment à l'ADF et à la teneur en membranes, permet d'augmenter la valeur des coefficients de corrélation, $R = 0,928$ et $R = 0,922$ respectivement ; il en est de même lorsque nous associons la teneur en matières azotées totales (critère du contenu cellulaire) à la teneur en cellulose Weende ou à la teneur en membranes. Le coefficient de corrélation le plus élevé entre l'indice de fibrosité et deux variables est obtenu avec le pourcentage de feuilles et la digestibilité en sachet pendant 48 heures ($R = 0,945$).

Le fait d'ajouter une troisième variable, telle que le temps d'ingestion ou de rumination ou la digestibilité en sachets pendant 48 heures, aux critères membranaires et morphologiques permet d'augmenter encore la valeur des coefficients de corrélation (tabl. 1). Ceci est normal car l'indice de fibrosité est un travail (énergie électrique) qui dépend :

— de la résistance du fourrage au broyage, qui augmente avec sa teneur en membranes et son pourcentage de tiges ;

— du temps nécessaire pour réduire le fourrage en fines particules : il résulte chez l'animal de l'action conjuguée des microorganismes du rumen et de la mastication merycique qui peuvent s'apprécier au travers de la digestibilité en sachets et du temps passé par l'animal à mastiquer par kg de matière sèche ingérée.

Pour 3 variables, le coefficient de corrélation le plus élevé est cependant obtenu avec la teneur en matières azotées totales, le temps d'ingestion et la digestibilité sachets 48 heures ($R = 0,969$).

En résumé, l'indice de fibrosité reflète non seulement la composition morphologique et chimique du fourrage mais également son aptitude à être réduit en fines particules.

Prévision de la valeur alimentaire

1. Pour les 34 fourrages précédents, nous avons comparé la précision de la prévision (déviation de la régression) de la digestibilité et des quantités de matière sèche et de matière organique digestible ingérées obtenue à partir de l'indice de fibrosité et à partir des différentes caractéristiques de ces fourrages (tabl. 2). Nous avons aussi cherché à améliorer la précision en associant un second critère à l'indice de fibrosité (tabl. 2).

L'indice de fibrosité permet de prévoir la digestibilité, la quantité de matière

TABLEAU I

Signification de l'indice de fibrosité: liaisons entre l'indice de fibrosité et les différentes caractéristiques du fourrage considérées seules, deux à deux, trois à trois

Critères explicatifs			Nombre d'échantillons	Coefficient de corrélation r ou R
1 ^{er} critère	2 ^e critère	3 ^e critère		
Cellulose Weende			34	+ 0,812
Cellulose Weende	Cendres		34	0,877
Cellulose Weende	Cendres	DIV 8 h	34	0,942
Cellulose Weende	MAT		34	0,927
Cellulose Weende	MAT	Temps ingestion + rumination	13	0,936
Cellulose Weende	Pourcentage de feuilles		31	0,907
Cellulose Weende	Pourcentage de feuilles	Sachets 48 h	31	0,951
Membranes			34	+ 0,836
Membranes	Cendres		34	0,898
Membranes	MAT		34	0,927
Membranes	Pourcentage de feuilles		13	0,922
Membranes	Pourcentage de feuilles	ADF	34	0,932
Membranes	Pourcentage de feuilles	Sachets 48 h	34	0,947
Lignocellulose			34	+ 0,777
Lignocellulose	Pourcentage de feuilles		31	0,902
Lignocellulose	Pourcentage de feuilles	Sachets 48 h	31	0,949
Lignocellulose	Cendres		34	0,890
ADF			34	+ 0,823
ADF	Cendres		34	0,905
ADF	Cendres	Pourcentage de feuilles	31	0,936
ADF	Pourcentage de feuilles		31	0,928
ADF	Pourcentage de feuilles	Hémicellulose	31	0,931
ADF	Pourcentage de feuilles	Sachets 48 h	31	0,955
ADF	Pourcentage de feuilles	MAT	31	0,933
Cellulose			34	+ 0,804
Cellulose	MAT		34	0,898
Cellulose	Pourcentage Tige + épis		31	0,874
Cellulose	Pourcentage Tige + épis	Sachet 48 h	31	0,940
Pourcentage de feuilles			31	— 0,863

TABLEAU 2

Comparaison de l'estimation de la quantité de matière sèche ingérée, de la digestibilité de la matière organique et de la quantité de matière organique digestible ingérée à partir de l'indice de fibrosité et des différentes caractéristiques des fourrages prises seules ou associées à l'indice de fibrosité

	Quantité de matière sèche ingérée N = 34		Digestibilité de la matière organique N = 34		Quantité de matière organique digestible ingérée N = 34	
	Critère	Critère + IF	Critère	Critère + IF	Critère	Critère + IF
CUD sachet 12 h .	0,909 (1) (5,43)	0,912 (5,35)	Sachet 48 h	0,912 (3,30)	Sachet 12 x 48 h .	0,931 (4,45)
F	0,827 (7,33)	0,854 * (6,78)	Membranes	0,858 (4,10)	Membranes	0,874 (5,96)
Cellulase	0,835 (7,17)	0,831 (7,25)	F	0,864 (4,05)	Cellulase	0,862 (6,18)
Membranes	0,826 (7,35)	0,852 * (6,93)	Cellulase	0,845 (4,30)	DIV 8 x 48	0,888 * (5,60)
Lignocellulose	0,799 (7,84)	0,851 ** (6,96)	Lignocellulose	0,812 (4,64)	Lignocellulose	0,850 (6,01)
IF	0,812 (7,71)	0,812 (7,71)	IF	0,839 (4,18)	Cellulose vraie	0,868 * (6,15)
ADF	0,801 (7,80)	0,841 * (7,05)	ADF	0,829 (4,49)	ADF	0,841 (6,69)
Cellulose vraie	0,776 (7,54)	0,849 (7,00)	CB	0,810 (4,71)	F	0,837 (6,77)
DIV 8 h	0,766 (8,38)	0,846 ** (6,95)	Cellulose vraie	0,840 (4,43)	IF	0,826 (6,97)
CB	0,746 (8,67)	0,820 (7,46)	DIV 48 h	0,799 (4,83)	CB	0,787 (7,52)
Lignine corrigée	0,718 (9,20)	0,818 ** (7,61)	Lignine	0,740 (7,49)	Lignine	0,756 (8,10)
T + E	0,705 (9,24)	0,836 ** (7,15)	T + E	0,726 (5,53)	T + E	0,706 (8,63)
Hémicellulose	0,641 (10,02)	0,816 ** (7,65)	Hémicellulose	0,698 (5,85)	Hémicellulose	0,674 (8,17)
MAT	0,559 (10,81)	0,805 ** (7,73)	MAT	0,636 (6,20)	MAT	0,562 (10,08)

(1) Coefficient de corrélation r ou R.

(2) Écart type réduit Syx.

* Augmentation significative au seuil 0,05.

** Augmentation significative au seuil 0,01.

sèche ingérée et la quantité de matière organique digestible ingérée de façon plus précise que les critères usuels tels que la teneur en cellulose brute et la teneur en matières azotées. Cette précision est cependant inférieure à celle permise par la digestion par la cellulase, la digestibilité en sachet ou la digestibilité *in vitro*.

Lorsque nous associons l'indice de fibrosité aux différents critères de prévision de la valeur alimentaire des fourrages, la précision de la prévision s'améliore d'autant plus qu'elle était faible avec ces critères. Ainsi pour des laboratoires équipés pour les analyses chimiques simples ou encore pour les stations d'essai qui peuvent mesurer la composition morphologique des fourrages, l'association de l'indice de fibrosité, aux déterminations courantes de la teneur en cellulose Weende et en matières azotées ou de la proportion de feuilles, permet d'augmenter de façon intéressante la précision de la prévision de la valeur nutritive et alimentaire des fourrages.

TABLEAU 3

Prévision de la valeur alimentaire de 152 fourrages à partir de la teneur en cellulose Weende et de l'indice de fibrosité seul ou associé à la teneur en cellulose brute ou à la teneur en matières azotées totales

Nature des fourrages	Nombre d'échantillons	Critère utilisé	Quantité de matière sèche ingérée		Digestibilité de la matière organique		Quantité de matière organique digestible ingérée	
			R	S(yx)	R	S(yx)	R	S(yx)
Graminées 1 ^{er} cycle	95	IF	0,798	8,36	0,843	4,65	0,833	6,78
		CB	0,842	7,35	0,869	4,27	0,875	5,98
		MAT	0,624	10,83	0,663	6,47	0,638	9,45
		IF, CB	0,864	6,99	0,893	3,88	0,893	5,52
		IF, MAT	0,791	8,48	0,831	4,81	0,817	7,07
Graminées repousses	33	IF	0,411	9,57	0,743	4,54	0,670	5,61
		CB	0,385	9,69	0,657	5,12	0,642	5,79
		MAT	0,691	7,58	0,545	5,70	0,650	5,74
		IF, CB	0,375	9,73	0,727	4,67	0,629	5,88
		IF, MAT	0,271	10,10	0,758	4,43	0,572	6,20
Ensemble des Graminées	128	IF	0,732	8,94	0,822	4,64	0,807	6,64
		CB	0,783	8,15	0,834	4,49	0,843	6,04
		MAT	0,547	10,98	0,637	6,29	0,594	9,04
		IF, CB	0,796	7,94	0,861	4,14	0,862	5,70
		IF, MAT	0,726	9,02	0,817	4,70	0,794	6,84
Légumineuses	24	IF	0,676	10,58	0,862	3,36	0,775	7,33
		CB	0,677	10,56	0,830	3,69	0,752	7,66
		MAT	0,687	10,43	0,881	3,13	0,796	7,02
		IF, CB	0,718	9,99	0,829	3,71	0,782	7,24
		IF, MAT	0,715	10,03	0,863	3,35	0,796	7,02
Ensemble des fourrages	152	IF	0,715	9,25	0,851	4,29	0,802	6,71
		CB	0,699	9,44	0,838	4,50	0,806	6,67
		MAT	0,504	11,40	0,407	7,51	0,476	9,87
		IF, CB	0,746	8,79	0,864	4,14	0,843	6,05
		IF, MAT	0,719	9,17	0,764	5,30	0,774	7,11

2. Sur le groupe des 152 fourrages, nous avons comparé la précision des prévisions des quantités ingérées et de la digestibilité à partir de l'indice de fibrosité, de la teneur en cellulose Weende, de la teneur en matières azotées et à partir des couples indice de fibrosité-cellulose Weende et indice de fibrosité-matières azotées (tabl. 3).

L'indice de fibrosité n'apporte pas toujours une amélioration par rapport à la teneur en cellulose Weende ; il en apporte cependant une par rapport à la teneur en matières azotées. On améliore la précision de la prévision de la digestibilité et surtout des quantités ingérées permise par l'indice de fibrosité, la teneur en cellulose Weende ou la teneur en matières azotées avec le couple indice de fibrosité-matières azotées et surtout indice de fibrosité-cellulose Weende. Cette amélioration est intéressante dans le cas de la prévision de la quantité de matière organique digestible ingérée ($S_{yx} = 6,05$ avec le couple indice de fibrosité-cellulose Weende au lieu de 6,71 avec l'indice de fibrosité seul et 6,67 avec la teneur en cellulose Weende seule).

Le fait de séparer les fourrages par cycle de croissance et par famille ne permet pas de diminuer beaucoup l'erreur de prévision obtenue avec le couple indice de fibrosité-cellulose Weende. Il est cependant intéressant de considérer séparément les graminées du 1^{er} cycle et l'ensemble des graminées.

Cela nous conduit alors aux équations de régression suivantes :

Graminées 1^{er} cycle (N = 95).

$$y_1 = 102,8 - 0,457 x_1 - 1,779 x_2 \pm 6,99$$

$$y_2 = 103,0 - 0,356 x_1 - 1,052 x_2 \pm 3,88$$

$$y_3 = 91,4 - 0,434 x_1 - 1,603 x_2 \pm 5,52$$

Graminées (total) N = 128.

$$y_1 = 117,1 - 0,426 x_1 - 1,661 x_2 \pm 7,94$$

$$y_2 = 100,8 - 0,377 x_1 - 0,977 x_2 \pm 4,14$$

$$y_3 = 87,8 - 0,436 x_1 - 1,479 x_2 \pm 5,70$$

Ensemble des fourrages N = 152.

$$y_1 = 105,5 - 0,701 x_1 - 1,075 x_2 \pm 8,79$$

$$y_2 = 100,5 - 0,360 x_1 - 0,982 x_2 \pm 4,14$$

$$y_3 = 81,6 - 0,576 x_1 - 1,173 x_2 \pm 6,05$$

où $x_1 =$ indice de fibrosité $\left(0,2928 \frac{wh}{10}\right)$

$x_2 =$ teneur en cellulose brute (p. 100 MS)

$y_1 =$ quantité de matière sèche ingérée (g/kg P. ^{0,75})

$y_2 =$ digestibilité de la matière organique (p. 100)

$y_3 =$ quantité de matière organique digestible ingérée (g/kg P. ^{0,75})

CONCLUSION

L'indice de fibrosité est un critère de prévision de la valeur alimentaire intéressant parce qu'il reflète bien la proportion des constituants membranaires des fourrages. Cependant sa mesure a une reproductibilité médiocre. Il est donc nécessaire de faire 6 déterminations, heureusement rapides, par fourrage. Pour pallier cette difficulté, nous avons essayé de mettre au point une autre méthode basée sur le même principe

mais utilisant un broyeur plus gros, des quantités de fourrage plus importantes introduites mécaniquement dans le broyeur et un système d'enregistrement permettant de supprimer les variations additionnelles de la puissance électrique dues non pas au fourrage mais au moteur du broyeur lui-même. Cette nouvelle technique n'a pas permis de diminuer la variabilité des mesures ni d'améliorer les liaisons ($r = -0,826$ et $r = -0,814$ entre la quantité de matière organique digestible ingérée et l'indice de fibrosité mesuré respectivement par la 1^{re} et par la 2^e méthode sur le groupe de 34 échantillons).

Nous conserverons donc la méthode décrite en 1966. Elle peut permettre :

— aux phytotechniciens, de trier les clones ou variétés les plus intéressants en utilisant à la fois le pourcentage de feuilles et la mesure de l'indice de fibrosité. Cela a d'ailleurs été appliqué à des clones de Fétuque élevée par GILLET et JADAS-HÉCART (1969) ; ils ont trouvé que l'indice de fibrosité était le meilleur critère explicatif de la quantité ingérée au pâturage.

— aux laboratoires d'analyses fourragères, d'améliorer la précision de la prévision de la valeur alimentaire des fourrages par rapport à celle obtenue avec la cellulose brute seule.

Reçu pour publication en mai 1971.

REMERCIEMENTS

Nous remercions M^{me} LITTRÉ pour l'aide qu'elle nous a apportée dans les calculs effectués sur ordinateur.

SUMMARY

INDEX OF FIBROUSNESS OF FORAGES ; ITS SIGNIFICATION AND UTILIZATION FOR PREDICTING FORAGE FEEDING VALUES

The index of fibrousness of forages, measured according to a previously described method (CHENOST, 1966), accounts for their morphological composition (leafiness) ; their chemical composition (proportion of cell wall constituents) and their ability for being reduced into fine particles in the rumen (digestibility in nylon bags, mastication time per animal).

By combining the index of fibrousness with another simple criterium of predicting the nutritive and feeding value of forages, such as leafiness or cellulose Weende content, it is possible to improve the accuracy of the results obtained with the index of fibrousness alone or with the two criteria separately.

From 152 forages, of different botanical families and growth cycles, we calculated the regression equations relating digestibility, dry matter intake and digestive organic matter intake to the index of fibrousness-cellulose Weende. These relationships can be improved by considering separately the grasses from the 1st growth cycle and all the grasses together.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHENOST M., 1966. L'indice de fibrosité des foins : Mesure et relations avec la valeur alimentaire. *Ann. Zootech.*, **15**, 253-257.
- CHENOST M., Élisabeth GRENET, DEMARQUILLY C., JARRIGE R., 1970. The use of the nylon bag technique for the study of forage digestion in the rumen and for predicting feed value. *Proc. XIth Int. Grassld. Congr.*, 697-701.

- DEMARQUILLY C., CHENOST M., 1969. Étude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon. Liaison avec la valeur alimentaire. *Ann. Zootech.*, **18**, 419-436.
- GILLET M., JADAS-HÉCART J., 1969. Les facteurs de l'appétibilité. *Fourrages*, **41**, 131-133.
- JARRIGE R., 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères. I. Fractionnement des constituants de la membrane par les hydrolyses acides. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **1**, 163-212.
- JARRIGE R., THIVEND P., 1969. Action d'une cellulase fongique sur les membranes et son intérêt pour prévoir la digestibilité des plantes fourragères. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **9**, 171-190.
- JARRIGE R., THIVEND P., DEMARQUILLY C., 1970. Development of a cellulolytic enzyme digestion for predicting the nutritive value of forages. *Proc. XIth Int. Grassld. Congr.*, 762-766.
- RUCKEBUSH Y., MARQUET J.-P., 1963. Recherches sur le comportement alimentaire chez les ruminants. *Rev. Méd. Vét.*, **114**, 833-856.
- TILLEY J. M. A., TERRY R. A., 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Brit. Grassland Soc.*, **18**, 104, 111.
- TROELSEN J. E., BIGSBY F. W., 1964. Artificial mastication. A new approach of predicting voluntary forage consumption by ruminants. *J. anim. Sci.*, **23**, 1139-1142.
- TROELSEN J. E., CAMPBELL J. B., 1969. The effect of maturity and leafiness on the intake and digestibility of alfalfa and grasses fed to sheep. *J. Agric. Sci.*, **73**, 145-154.
- TROELSEN J. E., *et al.*, 1970. The effect of physical breakdown on the voluntary intake of coarse roughage by sheep. *Proc. XIth Int. Grassld. Congr.*, 747-750.
- VAN SOEST P. J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Ass. Off. agric. Chem.*, **46**, 829-835.
-