

PRÉVISION DE LA DIGESTIBILITÉ DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET DE LA QUANTITÉ DE MATIÈRE SÈCHE VOLONTAIREMENT INGÉRÉE DES GRAMINÉES, SUR LA BASE DE LEUR COMPOSITION CHIMIQUE

INTRODUCTION

L'ORGANISME D'UN ANIMAL SÉLECTIONNÉ POUR UNE PRODUCTION MAXIMUM EST ASSEZ VULNÉRABLE ET DONC TRÈS EXIGEANT POUR UNE NUTRITION conforme à ses besoins. Malgré une utilisation très large des aliments concentrés dans la nutrition animale, les fourrages grossiers restent et doivent rester la base de la ration alimentaire des ruminants. Pour utiliser d'une façon optimale le potentiel de production des différents fourrages et pour éviter les pertes en azote ou en énergie (déséquilibre alimentaire), il est nécessaire de bien connaître la valeur nutritive de ces fourrages. Actuellement, les nutritionnistes se rendent bien compte que la valeur nutritive n'est qu'un aspect, certainement très important mais incomplet, de l'estimation de la valeur alimentaire des fourrages. Selon INGALLS et al. (1965), 70 % des variations du potentiel de production entre différents fourrages dépendent de la quantité de matière sèche ingérée, et seulement 30 % de la digestibilité.

Le but de la recherche dans le domaine de la sélection et de la production fourragère, mis à part les aspects quantitatifs, sanitaires, etc., doit être la création de variétés non seulement riches en substances nutritives digestibles mais encore capables d'assurer une ingestion en quantité maximale par animal.

Les exigences de la sélection des plantes fourragères dépassent aujourd'hui les limites de la méthode classique de Weende proposée il y a plus d'un siècle. Les résultats de ces analyses chimiques, dont la valeur est souvent contestée (DEINUM, 1965 ; SULLIVAN, 1964 ; CARLIER et al., 1970 ; NEHRING, 1966 ; GAILLARD, 1966 ; NEHRING et HOFFMAN, 1969 ; AERTS et al., 1973), donnent une idée de la valeur énergétique des fourrages, mais leur précision laisse à désirer et n'apportent aucune indication sur l'ingestibilité des fourrages.

Les chercheurs font un effort considérable depuis quelques années pour substituer à cette méthode classique une méthode ou un système d'analyses chimiques donnant des résultats et des indications plus satisfaisants sur la qualité des fourrages. Malheureusement, l'effort est axé, en majeure partie, sur la seule prévision de la digestibilité ; l'ingestibilité reste encore trop négligée malgré son importance primordiale. Les nombreuses méthodes proposées ont été étudiées et comparées par JARRIGE (1970), BARNES (1973) et AERTS et al. (1977).

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Depuis quelques années déjà, nous étudions la possibilité d'estimer ou de prévoir par la voie chimique la digestibilité de la matière organique et l'ingestibilité des fourrages. Il s'agit de trouver un schéma analytique dont les qualités principales doivent être la rapidité, la reproductibilité et surtout la corrélation étroite des valeurs calculées avec les valeurs *in vivo*. Comme point de départ, nous avons entrepris l'étude au niveau de la cellule végétale et des constituants susceptibles d'avoir une influence plus ou moins directe sur la digestibilité et l'ingestibilité des fourrages (SCEHOVIC, 1975 et 1976).

Par une élimination successive de différentes substances peu ou pas intéressantes pour le calcul de la valeur alimentaire, nous en avons retenu quelques-unes dont la présence dans les différentes fractions de la cellule végétale peut exercer une action positive ou négative sur la qualité des fourrages (tableau I). Cette étude a été faite sur 100 échantillons de différentes espèces et variétés de graminées dont la digestibilité de la matière organique (DMO) et l'ingestibilité ou matière sèche volontairement ingérée (MSVI) ont

été déterminées *in vivo* sur des moutons. La série d'échantillons faisant l'objet de l'étude est composée des espèces suivantes :

<i>Espèces</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	20
<i>Festuca pratensis</i>	16
<i>Lolium perenne</i>	10
<i>Lolium italicum</i>	8
<i>Phleum pratense</i>	20
<i>Festuca arundinacea</i>	26

Les analyses statistiques ont mis en évidence les substances qui présentent un intérêt particulier pour la détermination de la digestibilité et de l'ingestibilité des fourrages (tableau I).

Les matières fibreuses totales, ou les parois cellulaires, constituent une fraction de la cellule végétale, soit environ 56 % de la matière sèche. Cette fraction comprend plusieurs substances (cellulose, hémicellulose, substances

TABLEAU I
CORRÉLATION ENTRE DIFFÉRENTES SUBSTANCES
ET LA DIGESTIBILITÉ (DMO) ET L'INGESTIBILITÉ (MSVI)
DÉTERMINÉES *IN VIVO*

<i>Substances</i>	<i>Symbole</i>	<i>Corrélation (R)</i>		<i>Remarques</i>
		<i>DMO</i>	<i>MSVI</i>	
Matières fibreuses totales	MFT	— 0,730	— 0,815	100 — MFT
Matières solubles totales	MST	0,730	0,815	
Lignocellulose	Lc	— 0,922	— 0,820	Lc — L — Cr (Cr = cendres résiduelles)
Lignine	L	— 0,732	— 0,643	
Cellulose vraie	Cv	— 0,872	— 0,781	
Composés phénoliques fraction soluble	CPFS	0,372	0,601	
Composés phénoliques fraction insoluble	CPFI	— 0,913	— 0,665	

pectiques, lignine, cutine, silice, etc.) dont les proportions déterminent sa résistance à l'action cellulolytique microbienne. Cette action peut être entravée par la présence de la lignine (lignification) et de la silice métabolisée par la plante. La digestibilité de cette fraction peut varier dans de très larges limites (de 90 % à 40 %). La digestibilité de la matière organique dépend directement de la digestibilité de la membrane cellulaire. La proportion de cette fraction de la cellule végétale influence d'une façon directe la vitesse de passage dans le tube digestif ; cette vitesse de passage est un des facteurs les plus importants qui limitent la consommation (ULYATT et MAC RAE 1971).

Les matières solubles totales, ou le contenu cellulaire, sont la fraction de la cellule végétale (44 % environ) qui n'est pas affectée par la lignification, donc presque entièrement digestible (98 %). Elles sont composées de plusieurs substances (protéines solubles, lipides, glucides, acides organiques, pectine, minéraux, amidon, etc.) qui sont une source d'énergie facilement accessible à la faune microbienne du rumen. Son rapport avec la lignocellulose (Lc 100/MST) est en très bonne corrélation avec l'ingestibilité ($R = 0,866$) (cf. tableau II).

La lignocellulose est la fraction de la membrane cellulaire qui reste après l'extraction des hémicelluloses par une hydrolyse de la paroi cellulaire. Elle est composée de substances partiellement digestibles ou indigestibles (cellulose, lignine, silice).

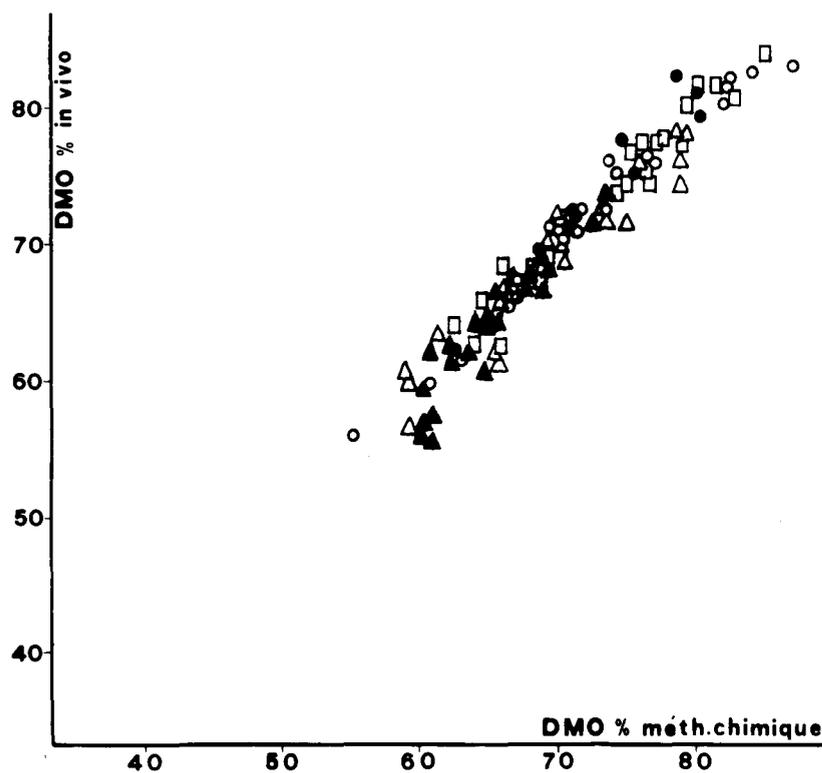
La cellulose est un polysaccharide structural très répandu dans le règne végétal. Elle existe dans les tissus sous forme de fibres composées de microfibrilles. Présente dans toutes les plantes, elle contribue à la rigidité de la structure cellulaire. La cellulose est plus abondante dans les tiges que dans les feuilles. On constate des différences de teneur en cellulose entre les diverses espèces et même entre les variétés de graminées. La cellulose est la source principale d'énergie pour la population microbienne du rumen, pour autant que l'action cellulolytique de celle-ci ne soit pas entravée par la présence de lignine. La cellulose pure est très digestible (plus de 90 %), par exemple chez les graminées lors des stades de développement morphologique très précoces. Sa digestibilité diminue avec l'âge de la plante parallèlement à la lignification.

60 **La lignine** peut être définie comme la partie non glucidique de la membrane cellulaire. Sa composition varie en fonction des plantes et des conditions

Digestibilité, ingestibilité

FIGURE 1
RELATION ENTRE LA DIGESTIBILITÉ
DE LA MATIÈRE ORGANIQUE *IN VIVO*
ET CELLE DÉTERMINÉE CHIMIQUEMENT

- Dactyle
- Fétuque des prés
- Ray-grass anglais
- Ray-grass d'Italie
- △ Fléole
- ▲ Fétuque élevée.



de l'extraction. Sa structure chimique n'est pas encore très bien connue mais on admet actuellement que la lignine résulte de la polymérisation d'un composé phénolique (RIBEREAU-GAYON, 1968 ; FREUDENBERG et NEISH, 1968). La lignine est fermement liée aux polysaccharides de la membrane et exerce une influence négative très forte sur leur digestibilité. La fixation de la lignine aux polysaccharides du végétal empêche le gonflement des fibres ; ce gonflement est la condition essentielle pour la pénétration des polysaccharidases microbiens (TARKOW et FEIST, 1969). Selon TOMLIN et al. (1965), si la lignine dépasse le seuil de 7 % de la matière sèche, les complexes lignine-polysaccharides ne sont plus attaquables par les enzymes (carbohydrases).

Les composés phénoliques constituent le groupe le plus répandu parmi les substances organiques secondaires présentes dans un corps végétal. Parmi les substances à fonctions phénols les plus importantes, il faut mentionner les anthocyanes, les pigments, les flavones et leurs dérivés, les tanins et les acides-phénols. Leur structure est caractérisée par une très grande variation, allant des phénols simples avec un seul et unique cycle aromatique jusqu'à des substances polymérisées hautement complexes.

Les composés phénoliques sont présents dans la nature sous différentes formes. On peut distinguer, dans les tissus végétaux, les phénols libres, les phénols sous forme de combinaisons simples (hétérosides ou esters-principaux phénols) et les phénols sous forme de polymères, d'une structure plus ou moins complexe.

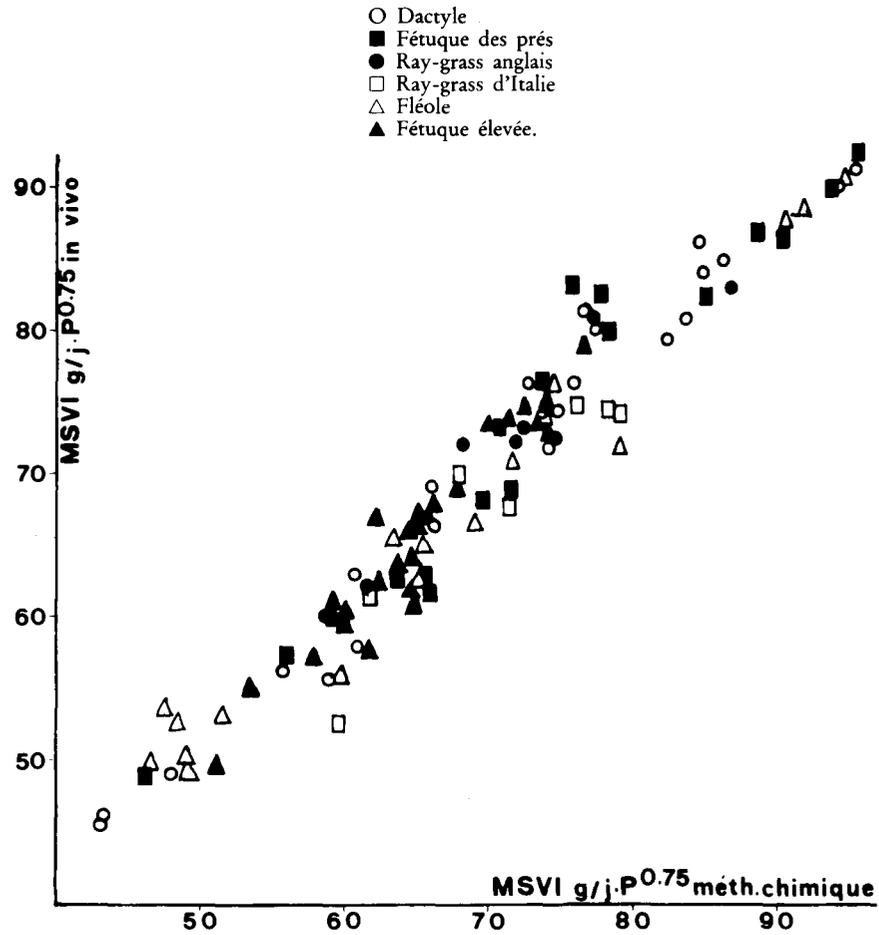
Il existe de nombreuses classifications des phénols correspondant à leurs caractéristiques spécifiques. Notre intérêt n'est pas porté sur des phénols individuels ou un groupe de composés phénoliques bien déterminés. Nous avons adopté une classification globale, très générale, qui répond parfaitement aux exigences imposées par le problème de l'évaluation de la qualité des fourrages. Nous distinguons deux fractions dans le groupe des phénols, dont la caractéristique principale est la solubilité dans l'alcool.

Composés phénoliques : fraction soluble dans le méthanol acidifié (1 %)

62 Cette fraction est constituée de pigments anthocyaniques, de flavones, flavonols, isoflavones, certains acides phénols sous forme hétérosidique et de

Digestibilité, ingestibilité

FIGURE 2
RELATION ENTRE LA QUANTITÉ DE MATIÈRE SÈCHE
VOLONTAIREMENT INGÉRÉE *IN VIVO*
ET CELLE DÉTERMINÉE CHIMIQUEMENT



tous les phénols libérés de leurs liaisons hétérosidiques par une hydrolyse acide. Le fait que cette fraction est plus abondante dans les feuilles que dans les tiges des graminées nous amène à conclure que sa détermination quantitative peut donner une indication sur le rapport feuille-tige. Au cours du premier cycle de végétation, on observe une stagnation, parfois une augmentation, de la teneur en fraction soluble jusqu'au début de la montaison, suivie par une chute plus ou moins rapide selon l'espèce végétale (figure 3).

Composés phénoliques : fraction insoluble dans le méthanol

Cette fraction est composée principalement d'acides phénols que l'on trouve sous forme de combinaisons généralement du type ester. Ces acides sont attachés aux polysaccharides de la membrane cellulaire et agissent en inhibiteurs de la dégradation enzymatique dans le rumen. Certains acides phénols sont reconnus comme les précurseurs de la lignine (HARTLEY et HARRIS, 1975, HARTLEY et JONES, 1976, RIBEREAU-GAYON, 1968). Pour rompre des liaisons ester afin de libérer les acides phénols, une hydrolyse alcaline doit être effectuée.

MÉTHODES ANALYTIQUES

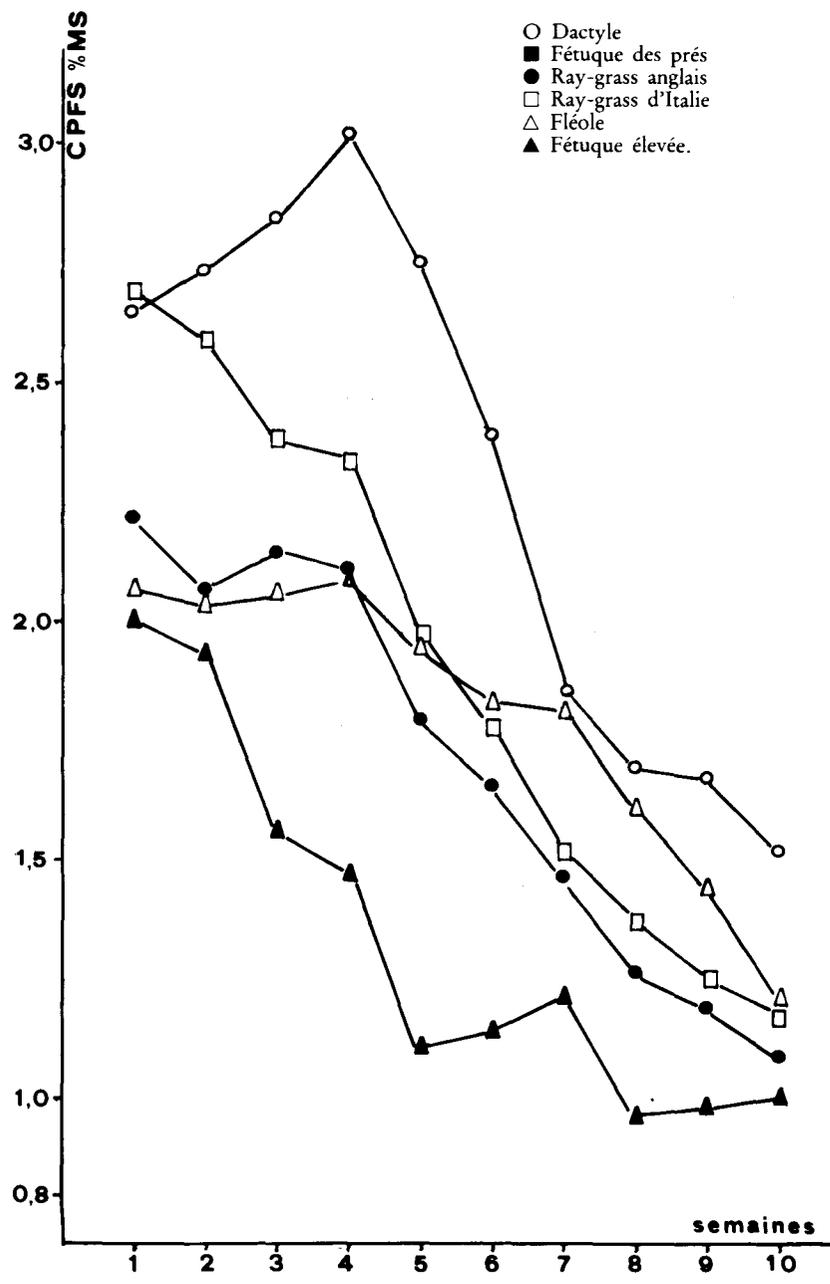
Les méthodes pour la détermination des matières fibreuses totales et de la lignocellulose ont été publiées antérieurement (SCEHOVIC, 1975 et 1976).

Détermination de la cellulose vraie, de la lignine et des cendres résiduelles (silice + impuretés)

Principe :

En traitant la matière végétale par un détergent acide, on obtient un résidu contenant de la lignine, de la cellulose et des cendres résiduelles. La lignine du résidu est extraite à l'aide de triéthylène-glycol activé par de l'acide chlorhydrique ; la cellulose vraie et les cendres sont déterminées par différence après incinération.

FIGURE 3
 COMPOSÉS PHÉNOLIQUES -
 FRACTION SOLUBLE : L'ÉVOLUTION
 AU COURS DU PREMIER CYCLE DE VÉGÉTATION



Mode opératoire :

Après avoir séché et pesé le creuset filtant (verre fritté — porosité n° 1) contenant de la lignocellulose, on ajoute directement dans le creuset une quantité suffisante (20-30 ml) de triéthylène-glycol ($C_6H_{14}O_4$) activé par HCl (6,3 ml HCl à 32 % pour 1 l de $C_6H_{14}O_4$). On homogénéise bien à l'aide d'une baguette en téflon pour que toutes les particules soient en contact avec le solvant. Les creusets sont chauffés rapidement dans un autoclave à 121 °C. Après 60 minutes, on filtre et on lave à l'alcool éthylique et à l'acétone. On laisse sécher le résidu une heure à 130 °C. Après refroidissement dans un dessiccateur à gel de silice, on pèse. Finalement, on calcine le résidu (cellulose vraie) durant trois heures à 550 °C dans un four électrique ; on laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse.

Calculs :

$$\text{Lignocellulose en \% de M.S.} = \frac{P_2 - P_1}{\text{M.S.}} \cdot 100$$

$$\text{Lignine \% M.S.} = \frac{P_2 - P_3}{\text{M.S.}} \cdot 100$$

$$\text{Cellulose vraie \% M.S.} = \frac{P_3 - P_4}{\text{M.S.}} \cdot 100$$

$$\text{Cendres résiduelles \% M.S.} = \frac{P_4 - P_1}{\text{M.S.}} \cdot 100$$

où :

M.S. = matière sèche

P_1 = poids du creuset vide

P_2 = P_1 + résidu (Lc)

P_3 = P_1 + résidu (Cv + cendres)

66 P_4 = P_1 + résidu (cendres résiduelles).

Digestibilité, ingestibilité

Détermination des composés phénoliques dans la matière végétale

Principe :

Il y a réduction du complexe formé par les réactifs phosphotungstique et molybdique par les phénols présents dans l'extrait en milieu alcalin. On mesure l'intensité de la coloration bleue qui est un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène.

Composés phénoliques : fraction soluble dans le méthanol

Mode opératoire :

Introduire 1,00 g de matière végétale (finement moulue) dans un récipient de 250 ml, ajouter, en agitant, 50 ml de la solution d'extraction (HCl à 1 % dans méthanol) et fermer le récipient. Laisser macérer 24 heures dans un incubateur, avec une agitation occasionnelle, à température constante (24 °C). Pipeter 1 ml de l'extrait dans un flacon jaugé de 100 ml contenant environ 70 ml d'eau déminéralisée. Ajouter 3 ml de réactif de Folin-Ciocalteu et 10 ml de Na₂CO₃ à 20 %. Mettre au volume et bien mélanger. Laisser reposer 1 heure exactement et mesurer, à l'aide d'un spectrophotomètre, la densité optique à la longueur d'onde de 675 nm. La lecture des résultats se fait sur une courbe d'étalonnage établie avec de l'acide gallique p.a. traité dans les mêmes conditions que l'échantillon (gamme de solutions d'acide gallique : 0 – 1,2 g/l).

Composés phénoliques : fraction insoluble dans le méthanol

Mode opératoire :

L'extrait utilisé pour la détermination de la fraction soluble est séparé du résidu par filtration à travers du verre fritté (creusets filtrants - porosité n°1). Laver le résidu plusieurs fois au méthanol. Après l'avoir séché (30 min. à 80 °C), ajouter directement dans les creusets 30 ml de NaOH 1 N (hydrolyse alcaline) et homogénéiser à l'aide d'une baguette en téflon pour que la matière soit complètement en contact avec le réactif. Après une attente de 20 heures, recueillir l'hydrolysats dans un flacon jaugé de 100 ml. Laver le résidu avec de

l'eau déminéralisée (70 ml environ). Mettre au volume et bien mélanger. Pour le dosage et la lecture des résultats, procéder de la même façon que pour la fraction soluble, mais avec une quantité d'hydrolysate à analyser de 2 ml.

RÉSULTATS OBTENUS

Les analyses statistiques des résultats procédées sur l'ordinateur HP-21MX indiquent plusieurs modèles d'équations de régression possibles.

A cause de leur corrélation (R) très étroite avec les valeurs *in vivo* (figures 1 et 2) et en raison d'un écart-type (Syx) relativement peu important, nous avons retenu les équations suivantes valables pour les calculs de la digestibilité de la matière organique et de l'ingestibilité des graminées :

$$\text{DMO } \% = 113,707 - 1,222 \text{ Lc} + 0,462 \text{ Cv} - 10,849 \text{ CPFPI}$$

$$(\text{R} = 0,97, \text{Syx} = 1,57)$$

$$\text{MSVI g/j} \cdot \text{kg}^{0,75} =$$

$$86,352 - 0,283 \left(\frac{\text{Lc} \cdot 100}{\text{MST}} \right) - 0,533 \text{ MFT} + 8,663 \text{ CPFS} + 10,993 \text{ CPFPI}$$

$$(\text{R} = 0,94, \text{Syx} = 3,00).$$

Il faut aussi mentionner les formules plus simples dont la précision est un peu inférieure mais avec lesquelles le procédé analytique est plus rapide :

$$\text{DMO } \% = 113,140 - 0,787 \text{ Lc} - 11,957 \text{ CPFPI}$$

$$(\text{R} = 0,96, \text{Syx} = 1,71)$$

$$\text{MSVI g/j} \cdot \text{kg}^{0,75} =$$

$$103,061 + 10,07 \text{ CPFS} + 10,922 \text{ CPFPI} - 1,215 \text{ MFT}$$

$$(\text{R} = 0,93, \text{Syx} = 3,26)$$

Il s'est avéré que la détermination des deux fractions des composés phénoliques joue un rôle complémentaire très important pour le calcul de la valeur alimentaire à côté des fractions cellulaires de base. Leur rapport (CPFS /CPFI) qu'on pourrait appeler l'« indice phénol », donne une image assez satisfaisante de la qualité des graminées. La valeur alimentaire exprimée en matière organique digestible volontairement ingérée (MODVI) pourrait être calculée à partir de l'« indice phénol » à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{MODVI g/j} \cdot \text{kg}^{0,75} = 22,33 + 17,5 \frac{\text{CPFS}}{\text{CPFI}}$$

(R = 0,82 ; Syx = 4,3)

Étant donné que le procédé analytique permet un rendement journalier très important, l'« indice phénol » pourrait être utilisé dans la sélection des plantes fourragères comme première estimation qualitative très rapide.

Voici l'exemple de l'évolution de l'« indice phénol » de quelques fourrages :

Espèce	Stade de développement morphologique			
	Feuille	Épi « 10 cm »	Épiaison	Floraison
	CPFS/CPFI			
Dactyle	2,519	2,166	1,196	0,900
Fétuque des prés	2,953	2,312	1,182	0,779
Fétuque élevée	1,452	0,995	0,754	0,552
Fléole	1,627	1,253	0,749	—
Ray-grass anglais	2,601	2,012	1,376	0,788
Avoine		1,073*	0,941**	
Seigle		0,636*	0,556**	
Triticale		0,787*	0,622**	

* Montaison.

** Début d'épiaison.

Avec l'introduction de ces deux valeurs dans les équations de régression multiple, on a enregistré une amélioration considérable de la corrélation avec les résultats *in vivo* et une diminution importante de l'écart-type (tableau II).

TABLEAU II

Procédé	Corrélation		Écart-type	
	DMO	MSVI	DMO	MSVI
Lc	0,922		2,42	
Lc + Cv + L	0,941		1,99	
Lc + CPFS + CPFI	0,956		1,72	
Lc + Cv + CPFS + CPFI	0,963		1,61	
Lc + Cv + CPFI	0,971		1,57	
MFT		0,815		4,93
Lc . 100/MST		0,866		4,72
Lc . 100/MST + CPFI + MFT		0,873		4,30
CPFS + CPFI + MFT		0,930		3,26
Lc . 100/MST + CPFI + CPFS		0,934		3,16
Lc . 100/MST + MFT + CPFI + CPFS		0,93		3,00

Dans le tableau III, on montre, à titre d'exemple, la composition chimique d'une série d'échantillons de différentes graminées et l'importance relative des différentes substances pour l'estimation de la digestibilité et de l'ingestibilité des graminées.

La très bonne corrélation entre les résultats calculés de la digestibilité et les résultats *in vivo* est obtenue grâce à l'équation de régression multiple qui tient compte non seulement de la lignocellulose, de la cellulose vraie et des phénols insolubles, mais aussi indirectement de la lignine et de la silice. Pour éviter les erreurs éventuelles, les échantillons à analyser doivent être sans impuretés de terre, afin de ne pas augmenter "artificiellement" la teneur en silice et diminuer la digestibilité. Ce risque d'erreur pourrait être écarté en exprimant les substances considérées en % de la matière organique. Nous avons constaté malheureusement que cette modification apporte une forte diminution de la précision des résultats calculés, ce qui confirme les observations de McLEOD et MINSON (1974).

*Digestibilité, ingestibilité
et composition chimique*

TABLEAU III
COMPOSITION CHIMIQUE (en % de matière sèche)
ET VALEUR ALIMENTAIRE DE DIFFÉRENTES GRAMINÉES

Espèces	Cycle	Digestibilité de matière organique		Ingétabilité g/j kg ^{0,75}		Matières azotées totales %	Glucides hydro-solubles %	Ligno-cellulose %	Cellulose vraie %	Lignine %	Matières fibreuses totales %	Composés phénoliques fractions	
		in vivo	in vitro	in vivo	in vitro							solubles %	insolubles %
Dactyle	I	62,2	62,8	57,6	61,7	6,2	15,8	36,3	30,4	4,76	62,1	1,286	1,896
	I	72,4	72,0	76,3	76,1	13,4	7,3	31,4	25,0	3,57	54,3	2,399	1,369
	II	71,2	69,0	74,5	73,7	18,0	12,1	33,9	27,6	3,52	57,0	2,418	1,482
	II	69,2	70,4	74,4	75,0	10,3	12,5	31,8	26,7	2,88	56,4	2,203	1,549
	II	66,2	66,8	69,2	66,5	13,4	4,8	35,8	29,2	3,74	59,7	1,955	1,539
Fétuque des prés	I	74,3	74,6	68,2	71,6	14,2	13,5	29,3	21,0	3,61	50,8	1,620	1,196
	I	80,0	79,6	83,2	79,1	15,9	17,8	23,9	17,8	2,62	42,8	1,487	1,205
	I	67,2	67,0	62,5	63,7	13,8	7,6	33,4	25,4	3,81	57,1	1,065	1,621
	II	77,2	77,6	76,3	73,8	18,0	14,3	28,0	23,7	2,33	48,6	1,613	1,186
	III	71,8	70,4	64,6	65,5	11,2	16,3	33,1	26,2	5,00	53,4	1,169	1,376
Ray-grass anglais	I	77,8	74,9	72,2	71,8	14,5	11,5	28,9	20,9	2,57	49,8	1,514	1,211
	I	82,2	78,8	73,3	71,8	17,9	10,3	27,0	21,5	1,55	47,1	1,488	1,091
	I	69,4	68,7	55,7	58,9	8,3	12,6	35,8	29,3	3,84	58,8	1,193	1,362
	I	75,1	75,9	72,0	68,3	9,7	20,6	29,9	24,8	2,68	50,9	1,324	1,168
	II	78,8	80,5	80,9	76,8	14,6	15,6	26,3	21,0	2,10	44,4	1,789	0,995
Ray-grass d'Italie	I	74,7	76,5	74,9	76,3	10,8	23,0	27,4	21,0	3,41	46,8	1,645	1,239
	I	77,4	79,4	79,9	77,6	11,6	21,8	26,0	21,4	2,45	45,4	1,719	1,140
	I	73,6	74,5	67,9	71,6	9,1	19,3	30,5	24,6	2,01	49,0	1,484	1,227
	II	69,1	69,6	70,1	68,1	14,6	7,8	33,0	25,5	3,71	52,9	1,336	1,433
	II	65,5	64,8	61,7	61,6	13,4	8,5	37,4	29,9	3,65	58,2	1,274	1,572
Fléole	I	65,8	65,7	53,3	51,4	8,4	5,5	36,1	28,6	5,54	67,6	1,281	1,575
	I	69,5	68,4	65,5	63,7	10,9	7,1	34,4	28,2	3,74	59,4	1,551	1,499
	I	63,9	61,2	48,9	49,6	10,4	2,2	40,1	33,3	4,76	68,4	1,334	1,736
	II	70,6	71,7	66,2	66,1	12,7	10,9	33,7	28,1	3,20	57,2	1,821	1,269
	III	76,2	76,4	71,1	71,6	12,8	18,1	27,5	20,7	3,23	47,3	1,502	1,223
Fétuque élevée	I	68,2	69,4	74,1	74,0	16,2	8,9	30,7	23,3	3,39	52,0	1,554	1,620
	I	59,8	60,9	57,6	57,9	10,8	6,3	38,5	28,9	4,56	60,5	0,972	1,761
	I	70,0	69,8	75,5	74,1	11,4	12,6	31,1	23,9	3,37	49,5	1,416	1,561
	I	68,0	67,8	73,9	69,9	10,9	10,0	33,0	25,5	3,40	53,2	1,365	1,600
	I	57,5	61,6	60,5	59,9	10,8	13,1	37,3	27,8	4,41	59,6	0,975	1,781

* kg^{0,75} = poids métabolique.

DISCUSSION

Cette étude s'insère dans des travaux entrepris depuis quelques années. Son but principal est d'améliorer la précision des résultats *in vitro* et d'augmenter la sensibilité de la méthode afin de pouvoir distinguer les différences qualitatives au sein d'une espèce. De plus, il est apparu indispensable d'augmenter le nombre d'échantillons testés préalablement *in vivo* pour assurer la fiabilité des résultats calculés et diminuer le risque d'erreur.

L'augmentation de la précision des résultats calculés apportée par la détermination des composés phénoliques est l'aspect le plus intéressant de ce travail. L'analyse des phénols est relativement simple et bien reproductible ; il est possible de travailler en grandes séries. Le problème de la stabilité ou des modifications éventuelles des substances phénoliques présentes dans la matière végétale peut être soulevé. En fait, les cellules végétales contiennent différents types d'enzymes, en particulier des polyphénols-oxydases et des glucosidases, susceptibles de modifier les phénols. Selon RIBEREAU-GAYON (1968), on peut éliminer ce risque par un séchage rapide du matériel végétal, aussitôt après sa collection ; le matériel végétal séché peut être conservé pendant un certain temps sans modification importante. Trois mois après la récolte du matériel, nous avons enregistré une diminution de 5 % environ de la teneur de la fraction soluble mais aucune modification de la fraction insoluble. Le matériel végétal séché a été conservé à l'obscurité, dans des flacons fermés hermétiquement.

Les analyses chimiques de la matière végétale récoltée une fois par semaine tout au long du premier cycle de végétation (stades : feuillu - floraison) ont révélé des différences importantes de teneur en composés phénoliques entre les cinq principales espèces de graminées (fig. 3 et 4). On observe notamment que la fétuque élevée, dont l'ingestibilité est reconnue inférieure à celle des autres espèces, est moins riche en fraction soluble et plus riche en fraction insoluble. On retrouve la même image à l'intérieur de l'espèce ; les variétés les mieux consommées (Ludelle, Motall) sont plus riches en phénols solubles et moins riches en phénols insolubles que les variétés d'ingestibilité inférieure (fig. 5) (*Essais de pâture sur fétuque élevée à Changins*, non publié).

FIGURE 4
COMPOSÉS PHÉNOLIQUES -
FRACTION INSOLUBLE : L'ÉVOLUTION
AU COURS DU PREMIER CYCLE DE VÉGÉTATION

- Dactyle
- Fétuque des prés
- Ray-grass anglais
- Ray-grass d'Italie
- △ Fléole
- ▲ Fétuque élevée.

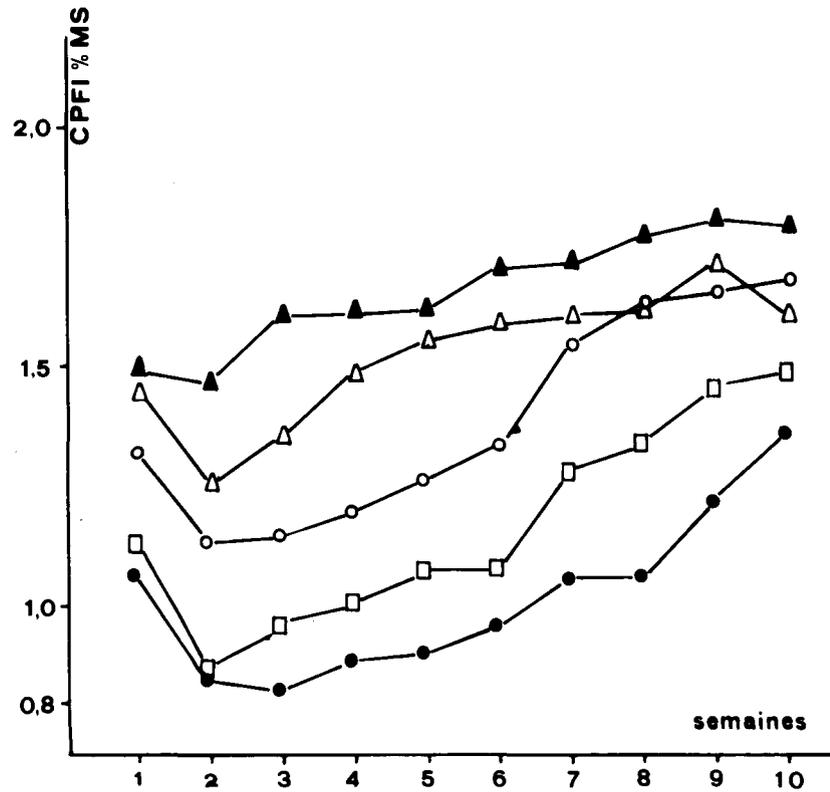


TABLEAU IV
TEST DE LA REPRODUCTIBILITÉ

	<i>Date d'analyse</i>	<i>Ligno-cellulose</i> %	<i>Cellulose vraie</i> %	<i>Lignine</i> %	<i>Matières fibreuses totales</i> %	<i>Composés phénoliques fractions</i>		<i>Digestibilité</i> %	<i>Ingestibilité estimée</i> g/j kg ^{0,75}
						<i>solubles</i> %	<i>insolubles</i> %		
1	2 octobre	37,6	29,9	3,64	58,4	1,282	1,562	64,6	61,3
2		37,4	29,6	3,61	58,2	1,276	1,583	64,5	61,8
3		37,4	29,7	3,65	58,2	1,270	1,565	64,8	61,5
4		37,5	29,7	3,67	58,6	1,283	1,556	64,7	61,0
5	9 octobre	37,3	29,4	3,60	58,4	1,296	1,582	64,5	61,8
6		37,5	29,5	3,63	58,4	1,270	1,580	64,4	61,4
7		37,5	29,4	3,70	58,5	1,281	1,559	64,6	61,2
8		37,8	30,1	3,75	58,3	1,269	1,570	64,4	61,3
9	16 octobre	37,6	29,8	3,65	58,6	1,274	1,558	64,6	60,9
10		37,4	29,7	3,61	58,5	1,254	1,576	64,6	61,2
11		37,4	29,7	3,68	58,5	1,282	1,555	64,8	61,2
12		37,3	29,6	3,59	58,3	1,276	1,568	64,8	61,6
X		37,5	29,7	3,65	58,4	1,276	1,568	64,6	61,3
S		0,142	0,201	0,046	0,138	0,010	0,010	0,144	0,284

Pour estimer l'intérêt que présente une méthode de prévision de la valeur alimentaire des fourrages, il faut tenir compte de plusieurs facteurs :

- 1) Corrélation avec les résultats *in vivo*,
- 2) Précision de l'estimation,
- 3) Reproductibilité,
- 4) Possibilité de travailler en grandes séries.
- 5) Rapidité d'exécution,
- 6) Coût du procédé.

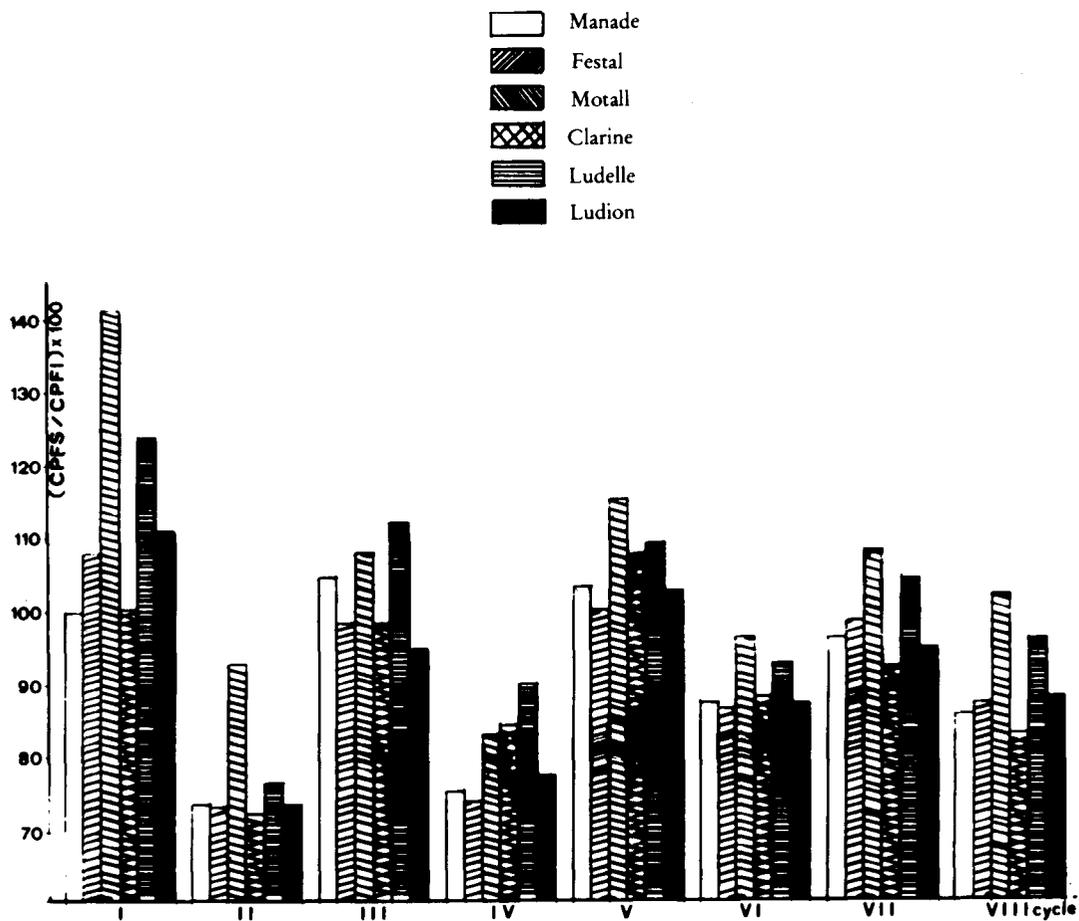
Nous estimons que la méthode proposée ici répond à ces exigences. Au sujet de la précision de l'estimation (l'écart-type), il faut rappeler qu'on a utilisé, pour la mise au point de la méthode, du matériel végétal déjà testé *in vivo* avec des animaux expérimentaux. Les valeurs de digestibilité et d'ingestibilité *in vivo* sont des moyennes obtenues sur quatre animaux ou plus. Selon BLAXTER et WILSON (1963), il peut y avoir une différence assez importante (4,7 - 6,6 g/kg^{0,75}) entre les animaux d'un même groupe expérimental. L'erreur tandard apportée par le calcul des résultats analytiques ($\pm 3,0$ g/kg^{0,75}) nous semble donc acceptable. Nous avons testé la reproductibilité du procédé sur douze prises d'échantillons de ray-grass d'Italie faites trois jours différents. Les résultats montrent une très bonne reproductibilité du procédé (tableau IV).

Toutes les méthodes proposées sont utilisables en grandes séries sans exigences particulières en équipement. Toutefois, les dosages des phénols exigent un spectrophotomètre avec remplissage, rinçage et vidange automatiques de la cellule, ce qui permet la mesure rapide exigée par la brève stabilité de la coloration (solution à mesurer). La rapidité d'exécution et le coût du procédé sont les principaux avantages de cette méthode chimique par rapport aux méthodes biologiques.

CONCLUSIONS

Les aspects qualitatifs dans les travaux de sélection et de production fourragère sont importants. Les travaux sur des espèces comme par exemple la fétuque élevée ou la fétuque rouge démontrent que par une sélection axée sur la qualité on peut obtenir des variétés comparables à celles des meilleures espèces. Pour arriver à ce but, une technique rapide, reproductible et fiable

FIGURE 5
INDICE PHÉNOLS » - COMPARAISON DES VARIÉTÉS DE LA FÊTUQUE ÉLEVÉE
AU COURS DE HUIT CYCLES DE L'EXPLOITATION



d'estimation de la valeur alimentaire doit être disponible. Un système d'analyses chimiques qui remplisse ces conditions et donne des renseignements précis sur les substances susceptibles d'influencer la digestibilité et la consommation du fourrage peut grandement faciliter le travail de sélection. Le procédé analytique proposé ici répond largement aux exigences tant au point de vue de la précision que du point de vue de la rapidité et de la reproductibilité. La détermination de l'« indice phénol » et son utilisation comme un test préliminaire très rapide permettent de travailler sur un grand nombre d'échantillons, ce qui donne la possibilité aux sélectionneurs de suivre l'évolution qualitative dès les premiers stades de leur travail sur un nouveau matériel.

J. SCEHOVIC,
*Station Fédérale
de Recherches agronomiques
de Changins, CH 1260 Nyon.*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- AERTS J.V., DE BRABANDER D.L., COTTYN B.G., MOERMANS R.J. et BUYSSSE F.X. : « Comparaison de différentes techniques de laboratoire utilisées en vue de l'estimation de la valeur amidon des fourrages grossiers », *Rev. de l'Agric.* 5, 1209-1227, 1977.
- AERTS J.V., DE BRABANDER D.L., COTTYN B.G., BUYSSSE F.X. : « A practical systeme for the evaluation of the nutritive value of roughages based on the crude components », *Proc. of the 5th Gener. Meet. Europ. Grass. Feder.*, 29, 7-11, 1973.
- BARNES R.F. : « Laboratory methods of evaluating feeding value of herbage », *Chemistry and Biochemistry of Herbage* 13, 179-210, 1973.
- BLAXTER K.L., WILSON R.S. : « The assessment of a crop husbandry technique in terms of animal production », *Anim. Prod.*, vol. 5, 27, 1963.
- CARLIER L.A., HEE L.P. van, COTTYN J.G. : « La détermination de la valeur énergétique de l'herbe basée sur la digestibilité *in vivo* », *Rev. agric.* 10, 1505-1513, 1970.
- DEINUM B. : « Climate nitrogen and grass. I. Meded. landb. Hoogesch. », *Wageningen* 66, 11-91, 1966.
- FREUDENBERG K. and NEISH A.C. : *Constitution and Biosynthesis of Lignin*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1968.

- GAILLARD B.D.E. : « Calculation of the digestibility for ruminants of roughages from the contents of cell-wall constituents », *Neth. J. Agric. Sci.* 14, 215, 1966.
- HARTLEY R.D., HARRIS P.J. : « Phenolic Components of Plant Cell Walls in Relation to Animal Nutrition », *J. Sci. Fd. Agric.* 26, 9, 1434-1435, 1975.
- HARTLEY R.D., JONES E.C. : « Diferulic acid as a component of cell walls of *Lolium multiflorum* », *Phytochemistry* 15, 1157-1160, 1976.
- INGALS J.R., THOMAS J.W., BENNE E.J., TESAR M. : « Comparative response of wetherlambs to several cuttings of alfalfa, birdsfoot trefoil, bromegrass and reed canary-grass », *J. Anim. Sci.* 24, 1159-1164, 1965.
- JARRIGE R. : « Méthodes de prévision de la valeur alimentaire des fourrages », *Fourrages*, 42, 89-108, 1970.
- MCLEOD N.N., MINSON D.J. : « Predicting dry matter digestibility from acid detergent fibre levels in grasses by a pretreatment with neutral detergent », *J. Sci. Fd. Agric.* 25 (8), 913-917, 1974.
- NEHRING K. : « Rohfasser oder Rohzellulose. Ein Beitrag zur Entwicklung der Weender Futtermittel-analyse », *Arch. Tierernähr.*, 16, 77, 1966.
- NEHRING K. and HOFFMANN B. : « Untersuchungen zur Weiterentwicklung des Futtermittelanalyse », *Arch. Tierernähr.*, 19, 561, 1969.
- RIBEREAU-GAYON P. : *Les composés phénoliques des végétaux*, 1968, Dunod, Paris.
- SČEHOVIC J. : « Évaluation de la qualité des fourrages sur la base de leur composition chimique », *La Recherche agronomique en Suisse*, 14, 137-152, 1975.
- SČEHOVIC J. : « Prévision de la quantité de matière sèche ingérée des fourrages sur la base de leur composition chimique », *La Recherche agronomique en Suisse*, 15, 113-127, 1976.
- SULLIVAN J.T. : « The chemical composition of forages in relation to digestibility by ruminants », *Crops Res. U.S.D.A.*, A.R.S. 58, 34-62, 1964.
- TARKOW H. and FEIST W.C. : « Cellulases and their Applications », *Advances in Chemistry*, 95, 197-218, 1969.
- TOMLIN D.C., JOHNSON R.R., DEHORITY B.A. : « The relationship of lignification to in vitro cellulose digestibility of grasses and legumes », *J. Anim. Sci.*, 24, 161-165, 1965.
- ULYATT M.P., MACRAE J.C. : « Studies of the causes of differences in pasture quality between perennial ryegrass, short rotation ryegrass and white clover », *N.Z.J. Agric. Res.*, 14, 352, 1971.

*Digestibilité, ingestibilité
et composition chimique*