

CINQUIÈME SESSION

ÉVALUATION QUALITATIVE DES FOURRAGES

L'ESTIMATION QUALITATIVE DES FOURRAGES, EN SE RÉFÉRANT PLUS PARTICULIÈREMENT AUX MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA DIGESTIBILITÉ *IN VITRO* ET *IN VIVO*

L'EXPRESSION « QUALITÉ D'UN FOURRAGE » PEUT ÊTRE RÉLÉE À L'UN DE CES DEUX FACTEURS OU AUX DEUX À LA FOIS :

- 1) la valeur énergétique,
- 2) la teneur en certains éléments nutritifs (protéines, glucides, vitamines, minéraux, etc...).

CRAMPTON et col. (24) ont proposé un index de Valeur Nutritive (N.V.I.) qui est le produit de l'énergie digestible par la quantité ingérée. CRAMPTON introduit ainsi la quantité ingérée *ad libitum* dans la valeur nutritive. BREIREM et col. (20) préfèrent séparer la valeur nutritive de la quantité ingérée *ad libitum*, considérant l'ingéré comme un complément d'information de la valeur énergétique. Selon BREIREM, l'équation suivante est valable :

$$\text{Potentiel alimentaire} = \text{acceptabilité} \times \text{valeur énergétique.}$$

C'est une question d'opinion de savoir si l'un ou l'autre de ces aspects illustre mieux le problème. Cet exposé traitera uniquement de la teneur en énergie des fourrages.

## DIGESTIBILITE ET VALEUR ENERGETIQUE

Parmi les différentes unités utilisées pour évaluer l'énergie contenue dans les fourrages, l'énergie digestible (DE), les éléments nutritifs digestibles totaux (TDN)\* et l'énergie métabolisable (ME) sont basés principalement sur la teneur en éléments nutritifs et sur les coefficients de digestibilité de ces éléments. Pour mesurer la valeur énergétique de ces aliments, on peut utiliser la digestibilité de la matière organique (6), le pourcentage de matière organique digestible (55) ou la matière sèche digestible. Il va sans dire que ces termes sont étroitement liés les uns aux autres et il en sera fait un large usage ci-après, bien que la teneur en énergie nette soit généralement considérée comme la mesure la plus sûre de la valeur énergétique des aliments (19, 49). Cependant, on a fait jusqu'ici relativement peu de déterminations de l'énergie nette des fourrages alors que les données sur la digestion sont plus nombreuses.

Ni les expériences de digestibilité, ni les déterminations classiques de l'énergie nette n'enlèvent leur valeur aux faits importants signalés par BLAXTER (15, 16), à savoir que l'utilisation des produits terminaux de la fermentation dans le rumen peut varier avec le niveau d'alimentation et que l'aspect physique sous lequel le fourrage est ingéré joue un rôle important. ARMSTRONG (3), travaillant avec quatre lots de Ray-grass séché artificiellement, a trouvé que quand les animaux recevaient une coupe tardive, la proportion molaire d'acide acétique dans le jus de rumen était plus élevée que quand une coupe précoce était distribuée. Ses déterminations d'énergie nette donnèrent cependant pour l'ensemble à peu près les mêmes schémas que les mesures de digestibilité.

### LE STADE DE CROISSANCE, FACTEUR D'EVALUATION DE LA QUALITE D'UN FOURRAGE.

Il semble que, depuis fort longtemps, le stade végétatif ait été considéré comme un élément de l'évaluation de la valeur des fourrages (88). Au cours des dernières décennies, on a émis un certain nombre d'opinions contradictoires sur la valeur des différents indicateurs de la digestibilité. AXELSSON (5,6) affirmait en général que la valeur nutritive d'un aliment était entièrement fonction de sa composition chimique. KIVIMAE (47) critique aussi

\* TDN (Total Digestible Nutrients) = Matières Azotées Digestibles + Matières Grasses Digestibles  $\times$  2,25 + Matières Cellulosiques Digestibles + Extractifs Non Azotés Digestibles.

le stade de croissance en tant que critère de la valeur nutritive, parce que les variations de la digestibilité et de la valeur nutritive sont dues à des changements dans la composition chimique du fourrage.

Par opposition, on peut penser que la cause de la variation de la valeur nutritive d'une première coupe est *a priori* son état de maturité et que les sources de variation les plus importantes pour un fourrage donné, récolté à un stade déterminé, sont la composition chimique (y compris la lignification), le pourcentage de limbes et le mode de conservation utilisé.

HOMB (38, 39) a montré que le stade de croissance était le meilleur test de la digestibilité d'un fourrage constitué principalement de Fléole et d'un faible pourcentage de Trèfle violet, séché artificiellement à basse température. Plus tard, un certain nombre de travaux effectués dans différents pays ont confirmé le bien fondé du choix du stade de maturité en tant que critère de la valeur nutritive d'un fourrage de première coupe (55, 56, 70).

Par suite des variations climatiques d'une année à l'autre, HOMB (38) a utilisé, comme point de repère dans ses analyses, la date correspondant au début d'épiaison de la Fléole. Il élimine ainsi les erreurs provenant des variations climatiques d'année en année. REID (67) a simplifié cette technique en rapportant directement la valeur nutritive des fourrages à leur date de coupe. D'après les observations suédoises et norvégiennes, on a calculé les déviations standards suivantes (s) à partir de la droite de régression de la digestibilité, dans le cas où :

- 1) x représente le nombre de jours calculé à partir d'une date fixe, quelle que soit l'année ;
- 2) x représente le nombre de jours calculé à partir de la date de l'épiaison, quelle que soit l'année.

	Valeur calculée de S quand x est le nombre de jours	
	1) à partir d'une date fixe	2) à partir du stade « épiaison »
KIVIMAE (47) Fléole ..	4,50	3,07
HOMB (38) Fléole + un peu de Trèfle	2,88	2,65

Avec le Trèfle violet suédois, la déviation standard calculée à partir de la droite de régression est également supérieure lorsque la date de coupe est utilisée directement pour le calcul de  $x$  (3,30 contre 2,03).

Des expériences américaines n'ont pas été publiées avec suffisamment de détails pour qu'il soit possible de savoir s'il est important de prendre en considération les variations que l'on rencontre d'une année à l'autre. Cependant, le fait même que les auteurs américains, travaillant avec une grande précision, aient utilisé directement la date de coupe dans leurs calculs, signifie que le facteur année n'est pas considéré comme un problème important dans l'état de NEW-YORK. En outre, on ne peut négliger l'avantage de cette simplification pour le conseiller agricole.

On peut estimer que le travail des vulgarisateurs a été réellement simplifié quand REID (67) a fait en sorte de pouvoir appliquer la même formule à différentes espèces, aux fourrages frais et aux ensilages aussi bien qu'aux foins récoltés dans de bonnes conditions. L'auteur mentionne que tous les types de fourrages n'ont pas été étudiés et que l'application pratique peut nécessiter des modifications si les espèces tardives montrent des comportements différents.

MINSON et col. (55) ont montré que ceci était vrai pour la souche S.23 de Ray-grass, qui a une épiaison plus tardive que les autres souches de Ray-grass. Le Dactyle, d'autre part, a une digestibilité inférieure à l'époque de l'épiaison à celle du Ray-grass S.24, bien que les dates d'épiaison soient sensiblement les mêmes. Aux Etats-Unis, une variété tardive de Fléole (Essex) s'est révélée posséder un coefficient de digestibilité plus élevé que d'autres fourrages coupés à la même époque (68). En Suède, le Trèfle violet présente une diminution journalière de 0,33 au cours des stades successifs de la première coupe, contre 0,52 pour la Fléole (47). D'autre part, HARKESS (36) rapporte une diminution de digestibilité lorsque la maturité augmente, plus faible pour le Trèfle blanc que celle que l'on trouve généralement chez les graminées. Des travaux récents à HURLEY montrent que toutes les espèces et variétés ne suivent pas la loi générale qui suppose une chute importante de la digestibilité à partir de l'épiaison (34).

58 Ces résultats rendent clair le fait que les sélectionneurs devraient considérer, lorsqu'ils testent de nouvelles souches, que leur valeur nutritive est fonc-

tion de leur stade de croissance. Ceci est pratiqué à HURLEY, ce qui a été l'objet récemment de commentaires favorables de la part de BALCH (8).

En dépit des résultats quelque peu divergents mentionnés ci-dessus, le point essentiel de l'interprétation de REID, qui veut qu'il y ait une diminution constante de la digestibilité (environ 0,5 point par jour), quelle que soit la latitude, l'espèce et la méthode de conservation utilisée, semble s'appliquer à la majorité des cas et constitue une manière d'évaluation des fourrages de première coupe très intéressante et importante.

Des travaux récents à HURLEY ont éclairé le problème de la variation de la valeur nutritive de fourrages coupés à différents degrés d'évolution de leur croissance en premier cycle. Il semble maintenant clair que la diminution de la digestibilité est très faible jusqu'à l'apparition de l'épi (55, 56). Il est souhaitable d'obtenir de nouvelles informations sur l'acceptabilité de fourrages coupés à des stades successifs jusqu'à l'épiaison des graminées, dans le but d'avoir une image plus complète des avantages et désavantages du pâturage ou non pâturage (zéro-grazing) d'une herbe atteignant un stade feuillu relativement avancé. Un rapport néo-zélandais indique que la corrélation entre la digestibilité et la quantité ingérée *ad libitum* est faible pour des échantillons qui ont un coefficient de digestibilité supérieur à 70 (41).

La seconde coupe et les coupes ultérieures sont difficiles à classer en fonction des stades végétatifs (31, 42). Quelques données exprimant la diminution journalière lorsque la maturité augmente sont indiquées ci-dessous :

HOMB (38) .....	Fléole - Trèfle	0,20 point
KIVIMAE (47) .....	Trèfle violet	0,21 point
MINSON et col. (55) ..	Dactyle	0,12 % D.O.M.
MINSON et col. (55) ..	Ray-grass S.23	0,08 % D.O.M.
MINSON et col. (55) ..	Ray-grass S.24	0,13 % D.O.M.

Les valeurs données par HURLEY ont été calculées sur la base du contenu en matière organique digestible (D.O.M.) pour des repousses fauchées à intervalles d'un mois ou deux. Comparée à la première coupe, la chute journalière de la digestibilité des repousses n'en représente que 20 à 40 %.

### L'ANALYSE CHIMIQUE, FACTEUR D'ÉVALUATION DE LA VALEUR NUTRITIVE D'UN FOURRAGE

L'analyse « grossière », préconisée par HENNEBERG et STOHMANN il y a cent ans, fut la première tentative sérieuse d'estimation de la valeur nutritive par des moyens chimiques. A l'origine, la cellulose brute était supposée indigestible et l'extractif non azoté digestible à environ 100 %. Bien que l'on ait montré que cette supposition était fautive, ce type d'analyse est encore utilisé dans le monde entier. De nombreux chercheurs ont poursuivi des travaux sur la cellulose brute considérée comme indicateur de la valeur nutritive des fourrages (6, 21, 26, 28, 43, 47, 50, 65). La cellulose brute considérée comme test de la digestibilité a fait l'objet d'études critiques dans quelques-uns des articles cités, et les raisons de ses limites ont été définies de façon convaincante par NORMAN (60) et NORDFELDT (58, 59). Nous ne mentionnerons ici que quelques points. Selon les travaux norvégiens, les taux de cellulose brute de la Fléole augmentent très rapidement jusqu'à l'épiaison et très lentement de l'épiaison à la floraison ; ceci ne correspond pas aux chutes de digestibilité qui sont très lentes pendant le stade feuillu et beaucoup plus rapides de l'épiaison à la floraison. Une autre faiblesse de la cellulose brute en tant qu'indicateur de la digestibilité réside dans les différences que l'on note selon qu'il s'agit d'une première coupe ou d'une repousse (38, 70).

Les coefficients de digestibilité moyens et les taux de cellulose brute trouvés au cours de six années de recherches norvégiennes, sont les suivants :

	<i>1<sup>re</sup> coupe</i>	<i>2<sup>e</sup> coupe</i>	<i>3<sup>e</sup> coupe</i>
— Cellulose brute, % de matière sèche .....	29,3	24,6	24,1
— Coefficients de digestibilité de la matière organique .....	70,8	70,5	71,4

Quant à la relation entre le contenu en protéine et la digestibilité de la matière organique, elle présente rapidement une limite par suite des différences entre espèces. Pour une même année et pour une même parcelle, le

coefficient de corrélation positif entre le taux protéique et la matière organique digestible, est significatif.

Le développement récent de l'analyse alimentaire visant à l'obtention d'une meilleure prévision de la valeur nutritive des fourrages, s'est vu canalisé en deux directions différentes. Quelques groupes de chercheurs ont essayé d'améliorer l'analyse de groupes chimiques bien définis. Citons, par exemple, les travaux de GAILLARD (32) en Hollande. Un autre aspect du problème est la recherche de méthodes rapides donnant des résultats que l'on peut relier à la digestibilité. L'analyse de la lignine, à mon avis, fait partie de ce dernier type. Dans les travaux de KIVIMAE, le pourcentage de lignine se trouva être un meilleur indicateur de la digestibilité de la Fléole que le stade de croissance, alors que les recherches norvégiennes aboutirent à un résultat opposé. Même si la détermination de la lignine peut être considérée comme une méthode pleine de promesses, elle ne s'est pas révélée aussi bénéfique qu'on pouvait le penser il y a quelques années.

Le Méthoxyl est un constituant de la molécule de lignine, et la teneur en Méthoxyl semble augmenter avec la maturité. On a obtenu entre le Méthoxyl et la digestibilité une assez bonne corrélation (2, 48).

VAN SOEST (85, 86), pensant que les détergents peuvent être utilisés dans la séparation des protéines des autres constituants, a fait un sérieux effort pour améliorer et simplifier l'analyse de la cellulose brute et de la lignine. Le point faible de l'analyse classique de la lignine est son inaptitude à extraire les protéines du résidu. VAN SOEST a proposé de lier ensemble les analyses de la cellulose brute et de la lignine et, pour distinguer ces propres résultats des anciens, a introduit les expressions « cellulose détergente acide » et « lignine détergente ». On a trouvé une corrélation satisfaisante entre ces résultats analytiques et les coefficients de digestibilité.

On peut ajouter aux tentatives d'amélioration des méthodes de détermination de la digestibilité (11, 44) l'autoclavage d'un échantillon acidifié de fourrage sec, proposé par THURMAN et WEHUNT (81) et essayé ensuite par différents auteurs.

PALOHEIMO (62) a proposé une méthode simple de détermination de la quantité totale de constituants membranaires. On obtient ainsi une assez bonne corrélation avec les résultats de digestibilité (59).

DEHORITY et JOHNSON (25) ont traité des échantillons de fourrages avec une solution de cupri-éthylène-diamine dans le but de déterminer la solubilité de la cellulose. Ils ont obtenu une assez bonne corrélation avec les résultats *in vivo*. Récemment, DONEFER et col (29) ont proposé une méthode de traitement avec une solution tampon de phthalate acide de potassium additionnée de cellulose et de pepsine.

Des estimations de la digestibilité à partir de plusieurs facteurs ont été faites au moyen d'analyses de régression partielles. SCHNEIDER et col. (73, 74), rassemblant les données du monde entier, ont effectué une étude complète de la digestibilité à partir des données fournies par les analyses grossières. Ils ont tenu compte des teneurs en protéines, cellulose, extractif non azoté et matière grasse. Bien que l'erreur d'estimation de la digestibilité ait été diminuée de 25 à 45 % par rapport aux données moyennes des tables, la précision, comme le pensent les auteurs eux-mêmes, ne semble pas suffisante.

### DIGESTION IN VITRO DES FOURRAGES A L'AIDE DU RUMEN ARTIFICIEL

La méthode d'approche moderne du problème posé par la prévision de la digestibilité est l'utilisation de la fermentation *in vitro* des aliments par les micro-organismes du rumen. Certains auteurs considèrent qu'il s'agit d'une imitation directe de la digestion du fourrage par les ruminants, mais CRAMPTON et col. (24) affirment : « que la fermentation *in vitro* n'a pas été imaginée pour reconstituer la fermentation du rumen à un moment donné. Le but a été de trouver, par des fermentations *in vitro*, des résultats ayant une corrélation satisfaisante avec des mesures de valeur nutritive effectuées *in vivo* selon des méthodes ayant une bonne signification nutritionnelle ».

La première tentative d'évaluation de la valeur nutritive des fourrages par le moyen de la technique du rumen artificiel est probablement due à PIGDEN et BELL (63). Des études plus anciennes (22, 40, 53) constituent des étapes importantes dans la mise au point de cette technique. Depuis 1955, un grand nombre d'articles ont été publiés sur la technique du rumen artificiel considérée comme facteur d'évaluation de la qualité d'un fourrage. Le principe de la digestion *in vitro* est la mesure, avant et après la période de fermentation, de la quantité soit de matière sèche (17, 18, 82), soit de cellulose (12, 24, 37). Pour imiter les conditions existant dans le rumen, un



mélange « tampon et minéraux » est ajouté à l'échantillon finement moulu avec du jus de rumen et de l'eau. La période d'incubation (à environ 39 °C) dure habituellement 24, 48 ou 72 heures. Des tubes de verre ont remplacé les récipients à dialyse, proposés à l'origine. La solution tampon maintient le pH dans les limites indispensables. Les conditions anaérobies sont assurées par un passage de CO<sub>2</sub> dans le récipient pour éliminer l'air. L'utilisation de suspensions lavées de micro-organismes du rumen à la place de jus de rumen brut ne convient généralement pas dans les études de fourrages, bien que cette méthode puisse avoir de la valeur pour d'autres fins (23). Selon ASPLUND et col. (4), et TILLEY et TERRY (83), l'activité cellulolytique des suspensions lavées n'est pas assez bonne.

Le jus de rumen a été prélevé à partir de moutons fistulisés (4, 37, 63, 82, 83), bovins (12, 24), ou cerfs (57). On n'a trouvé aucune différence entre le jus de rumen de moutons et de bovins (51). L'importance de la standardisation de l'alimentation et des traitements des animaux donneurs de jus est montrée par le fait que des moutons nourris uniquement de paille donnent un jus de rumen filtré dont l'efficacité pour la digestion de fourrages est inférieure à celle que l'on obtient quand les moutons sont nourris avec du foin (4). Une étude effectuée par LEFEVRE et KAMSTRA (51) a montré que plus de concentrés et moins de foin favorisent la digestion. La quantité et la proportion d'acides gras volatils produits *in vitro* sont aussi influencées par l'alimentation donnée aux moutons.

La méthode utilisée pour sécher le fourrage a été discutée en tant que source possible d'erreurs. Seule une longue période de séchage à haute température semble diminuer la digestibilité observée *in vitro*. Dans des limites assez larges, la finesse du broyage de l'échantillon ne semble pas affecter les résultats (83). TILLEY et TERRY ont aussi trouvé qu'un poids d'échantillon allant de 0,5 à 1,5 g de foin sec n'intervient pas sur la digestibilité *in vitro* pourvu que les volumes de jus de rumen et de solution tampon soient augmentés proportionnellement.

Pour ce qui est des détails des processus analytiques utilisés, on trouve d'excellentes indications dans les études de SHELTON et REID (67), de BARNETT et REID (10), ainsi que dans l'excellente discussion présentée par TILLEY et TERRY (83). Des détails complémentaires existent dans de nombreux articles originaux traitant de ce sujet (1, 11, 13, 14, 17, 23, 25, 27, 37, 40, 45, 46, 51, 61, 63, 78, 87). Une méthode intéressante d'échan-

tillonnage du fourrage pour les études de digestion *in vitro* a été proposée par TAYLER et DERIAZ (80), qui prélevaient dans le rumen des fourrages fraîchement ingérés. Cette technique doit être intéressante pour l'estimation du fourrage pâturé.

Il est probable que la technique définitive des études de digestion *in vitro* n'a pas encore été mise au point. De nombreuses publications récentes portant sur des travaux en cours, montrent le grand intérêt qui est porté à ce secteur.

Dès 1951, GRAY et col. (35) ont suggéré que la quantité et la nature des acides gras volatils produits *in vitro* pouvaient être liées à la qualité des fourrages. Des résultats obtenus quelques années plus tard à la Station de Recherches de HANNAH, il ressort que l'acide acétique est mal utilisé pour l'engraissement, alors que pour la production laitière une proportion relativement élevée d'acide acétique est désirable (16). Dans la lipogénèse, un pourcentage élevé d'acide propionique est considéré comme bénéfique. Aujourd'hui, il est évident que l'analyse des acides gras volatils, conjointement aux études de digestibilité *in vitro*, peuvent être d'importance dans l'étude des fourrages (4, 7, 17, 82). La digestion *in vitro*, bien sûr, demande seulement de petits échantillons. Elle convient ainsi à la détermination de la nature et de la quantité d'acides gras volatils produits par le fourrage dans un programme de testage. Si des échantillons plus importants de fourrages sont utilisés, le dosage des acides gras doit être effectué *in vivo* en utilisant des moutons ou des bovins munis de fistules. La classification des fourrages en fonction de leur production d'acides gras, a vu son champ d'action s'élargir du fait que la forme et la composition de la ration sont des facteurs significatifs de détermination des produits finals de fermentation dans le rumen, et par là même, du pourcentage de matière grasse du lait produit (7, 75). Des expériences américaines montrent également que certaines espèces de graminées, par exemple le Millet, ont un effet dépressif sur la synthèse de la matière grasse du lait (84). La raison de ceci est une question intéressante et fait partie actuellement de nos recherches.

Souvent on se demande, à propos de la technique *in vitro*, quelle précision on obtient dans la prévision de la digestibilité *in vivo*. Un des aspects du problème est le caractère reproductible de la méthode. En utilisant une technique en deux temps (incubation avec jus de rumen, puis digestion peptique), TILLEY et col. (82) ont trouvé, pour cent couples de mesures, une

erreur standard entre les doubles de plus ou moins 0,9 point que l'on peut considérer comme satisfaisante. Quand le jus de rumen était prélevé sur des moutons recevant des alimentations différentes, l'échantillonnage se faisant à des jours différents, l'erreur standard était supérieure (2,0 à 2,7 %), ce qui montre l'importance de la standardisation dans la conduite des animaux utilisés pour les prélèvements du jus de rumen. Comme l'ont fait remarquer RAYMOND (66), TILLEY et TERRY (83), la variabilité de la digestibilité *in vivo* est considérable, ce qui introduit ainsi une cause de distorsion dans la régression de la digestibilité *in vivo* par rapport à la digestibilité *in vitro*, qui n'a plus rien à voir avec la précision de la technique du rumen artificiel. Le problème de l'obtention de valeurs correctes dans les essais de digestibilité avec moutons et bovins est probablement insoluble. Le fait que la variabilité des coefficients de digestibilité obtenus avec des monogastriques soit inférieure à celle obtenue avec des ruminants, confirme que la fermentation dans le rumen est un phénomène de nature complexe et en quelque sorte imprévisible.

On a trouvé des coefficients de corrélation de 0,87 à 0,98 entre la digestibilité *in vitro* et les caractéristiques de certaines études *in vivo* (24, 28, 37, 77, 79, 82). En se basant sur cent quarante-huit échantillons de fourrages, TILLEY et TERRY (83) ont déterminé une erreur standard d'appréciation de plus ou moins 2,31 % en calculant la digestibilité de la matière sèche *in vivo* en fonction de l'analyse *in vitro*. L'élément important de cette étude est que le matériel utilisé comprend du Trèfle de la Luzerne et sept espèces différentes de graminées. Aucune variation appréciable due à l'année ou à l'espèce n'était apparente. Comparée aux autres méthodes d'estimation de la digestibilité *in vivo*, la précision ici est très élevée.

REID et col. (71) ont trouvé la même relation entre les déterminations *in vitro* et *in vivo* pour toutes les Stations de Recherches, dans une étude portant sur du fourrage provenant de sept Stations différentes. Ceci s'est constaté quand on a utilisé des inoculats de foin de graminées, mais non avec des inoculats de foin de Luzerne.

Le travail considérable poursuivi dans ce domaine par de nombreux laboratoires représente une étape importante vers l'estimation de la valeur des fourrages et ces résultats présentent un intérêt particulier pour les sélectionneurs au long de leur programme d'amélioration des plantes. Je suis d'accord avec BALCH (8), qui recommande d'exprimer les résultats en

« I.V.B. » (*in vitro* breakdown = utilisation *in vitro*) en mentionnant la méthode utilisée, plutôt que l'origine des chiffres obtenus *in vivo* dans chaque cas. TILLEY et TERRY (83) mettent aussi l'accent sur cette méthode d'expression. On ne doit cependant pas oublier l'animal dans des tests finals de caractère plus ambitieux.

#### TECHNIQUE DE DIGESTION IN VIVO SUR DE PETITS ECHANTILLONS

Parallèlement au développement de techniques *in vitro*, des expériences de digestion avec des échantillons de faible volume ont été effectuées *in vivo*. Le début de ce type de recherches remonte à quelque vingt-cinq années ; toutefois, la méthode de digestion qui consiste à placer de petits échantillons de fourrages dans le rumen d'un animal portant une fistule est relativement nouvelle. Des sacs de nylon ont remplacé les anciens sacs de soie utilisés par Mc. ANALLY (54) et par BALCH et JOHNSON (9). Ces deux derniers auteurs ont effectué des expériences avec des fils de coton et des échantillons de foin mis dans des sacs de soie. La vitesse d'utilisation de la matière sèche était plus élevée dans le sac ventral du rumen que dans le sac dorsal. Le sac, pour être aux endroits voulus dans le rumen, devait être attaché solidement. LUSK et col. (52) ont utilisé des échantillons de fourrage de 3 g mis dans des sacs de nylon de parachute présentant de 30 à 50 fils au cm. Leurs résultats montrent que, si on place dans les sacs un matériel témoin en vue d'obtenir une standardisation, on constate qu'une partie considérable de la cellulose peut être physiquement perdue à travers les pores du sac. La digestion de la cellulose d'un foin de Luzerne semble à peu près complète (égale au coefficient obtenu dans les essais conventionnels de digestion) après environ trente-six heures, tandis qu'un échantillon de foin de Cynodon dactylon se révèle moins digéré, selon cette technique du « petit échantillon », que dans les expériences de digestion totale. On a observé, contrairement aux essais de digestion *in vitro* effectués à HURLEY, des différences entre espèces. Selon les travaux de BALCH et de JOHNSON, le taux d'utilisation de la cellulose dans le rumen est fonction de la teneur en matière sèche du contenu du rumen, dans la mesure où un faible taux de matière sèche favorise la digestion. On doit considérer ces résultats comme des raccourcissements de la méthode. LUSK et col. (52) ont trouvé un coefficient de corrélation de 0,83 entre la méthode dite des petits échantillons et la méthode

classique de récolte. YANG et col. (91) ont obtenu à peu près le même coefficient de corrélation (0,79). Comme on l'a montré précédemment, on obtient de meilleurs résultats avec la digestibilité *in vitro*.

ERWIN et ELLISTON (30) ont effectué des études *in vivo* avec grains et fourrages sur quatre bouvillons fistulés. Le poids des échantillons sembla être d'importance, les échantillons les plus lourds (24 g) étant moins digérés que les plus petits (10 g). La finesse du broyage, cependant, ne sembla pas jouer un grand rôle dans ce cas.

Jusqu'ici, la méthode de digestion *in vivo* par petits échantillons n'a pas atteint le même degré de développement et la même précision que la technique *in vitro*.

#### **EFFET DU MODE DE CONSERVATION SUR LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES**

Comme on l'a mentionné précédemment, REID a trouvé que le mode de conservation n'interfère pas sur la relation que l'on trouve entre stade végétatif et digestibilité, dans le cas où le fourrage n'a pas été détérioré par de mauvaises conditions de récolte. On peut se demander si cette affirmation a une portée générale, ou si elle ne s'applique qu'aux foins et ensilages très bien réussis de l'état de New-York.

Les méthodes de conservation qui, selon toute probabilité, n'entraînent pas une diminution de la digestibilité sont la congélation rapide et le séchage artificiel. Les résultats de KIVIMAE (47) semblent très probants quant à la constance de la digestibilité avant et après chauffage électrique à 50-60 °C, si l'on excepte une faible diminution de la digestibilité des protéines. Les ensilages réussis ont également conduit à des digestibilités inchangées, pourvu que le travail analytique soit effectué convenablement, par exemple en exprimant la digestibilité de l'énergie, évitant ainsi les interférences par suite des pertes d'acides gras volatils pendant le séchage au four (33). Dans des expériences norvégiennes (64) portant sur différents systèmes de conservation des fourrages, des mélanges de graminées-Trèfle (1<sup>re</sup> coupe) de qualité égale furent comparés sous forme de :

- 2) ensilage à l'acide formique,
- 3) foin séché au champ sur haies.

Les résultats furent les suivants (moyenne de deux années, avec quatre essais de digestion pour chaque traitement) :

	<i>Coefficient de digestibilité</i>	
	<i>Matières organiques</i>	<i>Protéines brutes</i>
— Séchage artificiel ..	74,6	67,2
— Séchage au champ .	68,6 (64,5-72,8)	64,0
— Ensilage .....	71,3	65,9

L'ensilage était de bonne qualité (pH = 4,1 à 4,2, acide butyrique 0 à 0,04 %, acide lactique 1,95 %, acide acétique 0,62 %). En 1954, les conditions climatiques furent très mauvaises et provoquèrent une diminution de la digestibilité du foin (coeff. = 64,5). L'ensilage réussi avec conservateurs, et le foin obtenu par séchage au champ sur haies dans de bonnes conditions climatiques n'ont montré qu'une faible diminution de la digestibilité, probablement de 2 à 4 unités.

Dans les études de PRESTHEGGE sur la digestibilité de l'ensilage, sur cinq des six années, on a trouvé une valeur moyenne de 70,9 %, l'époque de coupe ayant été dans tous les cas celle du début de l'épiaison de la Fléole. (La sixième année, le fourrage avait été coupé plus tard.) Si l'on se rapporte aux précédentes études effectuées sur les dates de coupe au même Institut, on peut supposer que la digestibilité de la matière organique du fourrage frais est de 73 à 74, ce qui représente une diminution de 2 à 3 points. SAUE (72) a étudié l'influence du séchage artificiel et de l'ensilage sur graminée, et trouvé à peu près la même digestibilité pour la matière organique (graminées séchées 67,5, ensilage 68,1). ORUD et HOMB (92) ont effectué d'autres observations confirmant la digestibilité élevée d'un ensilage de très bonne qualité (méthode « A.I.V. »). Effectuant leurs essais de digestibilité en triple avec un mélange de Fléole (90 %) et de Trèfle (10 %) récolté une semaine avant l'épiaison de la Fléole, ils ont trouvé un coefficient de digestibilité de la matière organique de 78. Le fourrage frais, d'après les équations de régression, devait avoir sensiblement la même digestibilité (38).

Dans ces cas, le pourcentage de matière sèche est déterminé par le procédé ordinaire de séchage, ne tenant pas compte des substances volatiles. A l'heure actuelle, des travaux sont en cours à l'Institut pour déterminer l'importance de la correction qu'il convient de faire en raison de la présence de ces composants volatils.

En conclusion, nous dirons qu'un ensilage de bonne qualité possède environ la même digestibilité que le fourrage frais à partir duquel il a été fait. S'il existe une baisse, pour un ensilage réussi, celle-ci est faible. D'autres recherches norvégiennes ont montré qu'un ensilage de fourrage riche en eau, effectué sans conservateur, présentait une baisse de digestibilité de 2,7 % par rapport à l'ensilage selon la méthode « A.I.V. ». Il ne fait aucun doute que le facteur qui affecte la qualité de l'ensilage dans un sens défavorable affecte également sa digestibilité. WERINGA (90) a trouvé une forte diminution de digestibilité causée par une température élevée et une oxygénation importante sur un ensilage prélevé dans un silo qui n'avait été fermé qu'un ou deux jours après son remplissage. WATSON et NASH (89) citent plusieurs exemples semblables, par exemple à la suite d'utilisation de silos-meules. Ils mentionnent également une perte importante de matière sèche et la diminution de valeur nutritive pour des foins séchés sur place dans de très mauvaises conditions climatiques.

Dr. Thor HOMB,  
VOLLEBEKK — (Norvège).

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) ALEXANDER R. H. and Mc GOWAN M. (1961) : *J. Brit. Grassl. Soc.*, 16, 275-276.
- (2) ANTHONY W. B. and REID J. T. (1958) : *J. Dairy Sci.*, 41, 1.715-1.722.

- (3) ARMSTRONG D. G. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 485-489.
- (4) ASPLUND J. M., BERG R. T., Mc ELROY L. W. and PIGDEN W. J. (1958) : *Canadian J. Animal Sci.*, 38, 171-180.
- (5) AXELSSON J. (1936) : *Vara fodermedel, deras sammansättning, smältbarhet och näringsvärde. Del I, Nordisk Rotagravyr*, Stockholm.
- (6) AXELSSON J. (1949) : *Proc. 5th Intern. Grassl. Congr.*, 266-277.
- (7) BALCH C. C. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 528-533.
- (8) BALCH C. C. (1961) : *J. Brit. Grassl. Soc.*, 16, 164-168.
- (9) BALCH C. C. and JOHNSON V. W. (1950) : *Brit. J. Nutr.*, 4, 389-394.
- (10) BARNETT M. J. F. and REID R. L. (1961) : *Reactions in the rumen*. Edward Arnold, London.
- (11) BAUMGARDT B. R., CASON J. L. and TAYLOR M. W. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 59-61.
- (12) BAUMGARDT B. R., TAYLOR M. W. and CASON J. L. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 62-68.
- (13) BENTLEY O. G., JOHNSON R. R., HERSBERGER T. V., CLINE J. H. and MOXON A. L. (1955) : *J. Nutr.*, 57, 389-400.
- (14) BEZEAU L. M. and JOHNSTON A. (1962) : *Canadian J. Plant. Sci.*, 42, 692-697.
- (15) BLAXTER K. L. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 479-484.
- (16) BLAXTER K. L. (1962) : *The energy metabolism of ruminants. Hutchinson, Scientific and Technical*, London.
- (17) BOWDEN D. M. and CHURCH D. C. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 972-979.
- (18) BOWDEN D. M. and CHURCH D. C. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 980-985.
- (19) BREIREM K. (1957) : *Fire forelesninger over formidlenes næringsverdi. Mimeographed paper.*
- (20) BREIREM K., EKERN A., HOMB T., HVIDSTEN H., PRESTHEGGE K., SAUE O. and ULVESLI O. (1961) : 2. symposium on energy metabolism. *Wageningen*, Sep. 11-15, 1961, 292-306.



- (21) BROUWER E. and DIJKSTRA N. D. (1938) : *Verslagen van landbouwkundige Onderzoekingen*, N° 44.
- (22) BURROUGHS W., FRANK N. A., GERLAUGH P. and BETHKE R. M. (1950) : *J. Nutr.*, 40, 9-24.
- (23) CHENG E. W., HALL G. and BURROUGHS W. (1955) : *J. Dairy Sci.*, 38, 1.225-1.230.
- (24) CRAMPTON E. W., DONEFER E. and LLOYD L. E. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 462-466.
- (25) DEHORITY B. A. and JOHNSON R. R. (1963) : *J. Animal Sci.*, 22, 222-225.
- (26) DIJKSTRA N. D. (1954) : *Neth. J. Agr. Sci.*, 2, 273-297.
- (27) DONEFER E., CRAMPTON E. W. and LLOYD L. E. (1960) : *J. Animal Sci.*, 19, 545-552.
- (28) DONEFER E., LLOYD L. E. and CRAMPTON E. W. (1960) : *J. Animal Sci.*, 19, 1.304.
- (29) DONEFER E., NIEMANN P. J., CRAMPTON E. W. and LLOYD L. E. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 664.
- (30) ERWIN E. S. and ELLISTON N. G. (1959) : *J. Animal Sci.*, 18, 1.518.
- (31) ESKEDAL H. W. (1934) : *155. beretning fra Forsøgslaboratoriet*, Copenhagen.
- (32) GAILLARD B. D. E. (1954) : Chromatografisch onderzoek naar de samenstelling van de polysacchariden uit de celwand in verband met de analyse van rumvoeders. Thesis, Utrecht.
- (33) GRASSLAND RESEARCH INSTITUTE (1961) : Annual Report for 1959-1960. Hurley, Berkshire.
- (34) GRASSLAND RESEARCH INSTITUTE (1962) : Annual Report for 1960-1961. Hurley, Berkshire.
- (35) GRAY F. V., PILGRIM A. F. and WELLER R. A. (1951) : *J. Exptl. Biol.*, 28, 74-82.
- (36) HARKESS R. D. (1963) : *J. Brit. Grassl. Soc.*, 18, 62-68.
- (37) HERSHBERGER T. V., LONG T. A., HARTSOOK E. W. and SWIFT R. W. (1959) : *J. Animal Sci.*, 18, 770-779.

- (38) HOMB T. (1952) : 71. *Report from the Institute of Animal Nutrition The Agricultural College of Norway.*
- (39) HOMB T. (1953) : *Acta Agric. Scand.*, 3, 1-32.
- (40) HUHTANEN C. N., SAUNDERS R. K. and GALL L. S. (1954) : *J. Dairy Sci.*, 37, 328-335.
- (41) HUTTON J. B. (1962) : *N.Z. J. Agr. Res.*, 5, 409-424.
- (42) ISAACHSEN H., ULVESLI O. and HUSBY M. (1932) : *Meld. N.L.H.*, 12, 209-263.
- (43) JARL F. (1938) : *Nord. Jordbrugsforsk.*, 20, 1-30.
- (44) JOHNSON J. R., SCHUBERT J. R. and WESWIG P. H. (1958) : *Agron. J.*, 50, 51.
- (45) JOHNSON R. R., DEHORITY B. A., PARSONS J. L. and SCOTT H. W. (1960) : *J. Animal Sci.*, 21, 892.
- (46) KAMSTRA L. D., MOXON A. L. and BENTLEY O. G. (1958) : *J. Animal Sci.*, 17, 199-208.
- (47) KIVIMAE A. (1957) : Chemical composition and digestibility of some grassland crops. *Acta Agric. Scand.*, Supplementum 5.
- (48) KIVIMAE A. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 466-470.
- (49) KLEIBER M. (1959) : *Agron. J.*, 51, 217-219.
- (50) LANCASTER R. J. (1943) : *N.Z. J. Sci. and Techn. (Sect. A)*, 25, 137-151.
- (51) LEFEVRE C. F. and KAMSTRA L. D. (1960) : *J. Animal Sci.*, 19, 867-872.
- (52) LUSK J. W., BROWNING C. B. and MILES J. T. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 69-73.
- (53) MARSTON H. R. (1948) : *Biochem. J.*, 42, 564-574.
- (54) Mc ANALLY R. A. (1942) : *Biochem. J.*, 36, 392-399.
- (55) MINSON D. J., RAYMOND W. F. and HARRIS C. E. (1960) : *J. Brit. Grassl. Soc.*, 15, 174-180.
- (56) MINSON D. J., RAYMOND W. F. and HARRIS C.E. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grass. Congr.*, 470-474.
- (57) NAGY G., VIDACS G. and WARD G. M. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 591.

- (58) NORDFELDT S. (1948) : *Kungl. Lantbruksakad. Tidskr.*, 87, 346-369.
- (59) NORDFELDT S., SVANBERG O. and CLAEISSON O. (1949) : *Acta Agr. Suecana*, 3, 135-177.
- (60) NORMAN A. G. (1935) : *J. Agric. Sci.*, 25, 529-540.
- (61) QUICKE G.V., BENTLEY O. G., SCOTT H. W. and MOXON A. L. (1959) : *J. Animal Sci.*, 18, 275-287.
- (62) PALOHEIMO L. (1945) : *Maataloustieteellinen Aikakauskirja*, 17, 19-21.
- (63) PIGDEN W. J. and BELL J. M. (1955) : *J. Animal Sci.*, 14, 1.239.
- (64) PRESTHEGGE K. (1959) : *Report N° 93 of the Institute of Animal Nutrition, The Agricultural College of Norway.*
- (65) RAYMOND W. F. (1951) : *J. British Grassl. Soc.*, 6, 139-146.
- (66) RAYMOND W. F. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.* 543.
- (67) REID J. T. (1961) : *J. Dairy Sci.*, 44, 2.122-2.133.
- (68) REID J. T. (1962) : *Some feeding fundamentals. Mimeographed paper.*
- (69) REID J. T., KENNEDY W. K., TURK K. L., SLACK S. T., TRIMBERGER G. W. and MURPHY R. P. (1959) : *Agron. J.*, 51, 213-216.
- (70) REID J. T., KENNEDY W. K., TURK K. L., SLACK S. T., TRIMBERGER G. W. and MURPHY R. P. (1959) : *J. Dairy Sci.*, 42, 567-571.
- (71) REID R.L., CLARK B., WELCH J. A., JUNG G. A. and SHELTON D. C. (1960) : *J. Animal Sci.*, 19, 1.312.
- (72) SAUE O. (1963) : *Forsök med grasprodukter til lam. Prêt à paraître.*
- (73) SCHNEIDER B. H., LUCAS H. L., PAVLECH H. M. and CIPOLLONI M. A. (1951) : *J. Animal Sci.*, 10, 706-713.
- (74) SCHNEIDER B. H., LUCAS H. L., CIPOLLONI M. A. and PAVLECH H. M. (1952) : *J. Animal Sci.*, 11, 77-83.
- (75) SHAW J. C. (1960) : *VIII. Internationaler Tierzuchtkongress, Hamburg. Hauptbericht*, 29-56.

- (76) SHELTON D. C. and REID R. L. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 524-528.
- (77) SIMKINS K. L. and BAUMGARDT B. R. (1963) : *J. Dairy Sci.*, 46, 338-340.
- (78) SMITH R. E., HINDERS R. G. and WARD G. M. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 690.
- (79) STEWART W. E. and SCHULTZ L. H. (1958) : *J. Animal Sci.*, 17, 737-742.
- (80) TAYLER J. C. and DERIAZ R. E. (1963) : *J. Brit. Grassl. Soc.*, 18, 29-38.
- (81) THURMAN R. L. and WEHUNT E. J. (1955) : *Agron. J.*, 47, 302-303.
- (82) TILLEY J. M. A., DERIAZ R. E. and TERRY R. A. (1960) : *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 533-537.
- (83) TILLEY J. M. A. and TERRY R. A. (1963) : *J. Brit. Grassl. Soc.*, 18, 104-111.
- (84) VANDERSALL J. H. (1962) : Communication personnelle.
- (85) VAN SOEST P. J. (1961) : *J. Dairy Sci.*, 44, 1.177.
- (86) VAN SOEST P. J. (1962) : A rapid method for the determination of fiber and lignin using detergent. *Mimeographed paper.*
- (87) WALKER D. M. (1959) : *J. Agr. Sci.*, 53, 192-197.
- (88) WATSON S. J. (1950) : *Grassland and grassland products.* Edward Arnold and Co, London.
- (89) WATSON S. J. and NASH M. J. (1960) : *The conservation of grass and forage crops.* Oliver and Boyd, London.
- (90) WIERINGA G. W. (1960) : Some factors affecting silage fermentation. *Proc. 8th Intern. Grassl. Congr.*, 497-502.
- (91) YANG M. G., INGALLS J. R. and THOMAS J. W. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 676.
- (92) ORUD I. and HOMB T. (1963) : *Tidsskr. f.d. norske landbruk* (Sous presse).