

Maximiser l'ingestion de fourrages conservés

R. BAUMONT, J.-P. DULPHY, C. DEMARQUILLY

Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores, Centre INRA de Clermont-Fd/Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

RÉSUMÉ – Maximiser l'utilisation des fourrages dans les rations nécessite d'utiliser des fourrages d'ingestibilité élevée. L'ingestibilité des fourrages s'explique principalement par le contrôle à court terme de l'ingestion. Ce contrôle intègre le processus de rassasiement, dans lequel interviennent des signaux physiques (encombrement du rumen) et des signaux chimiques (produits de la fermentation dans le rumen), et la motivation à ingérer qui est plus ou moins stimulée par les qualités organoleptiques du fourrage (palatabilité). L'ingestibilité diminue lorsque l'effet d'encombrement du fourrage (temps de séjour de la MS dans le rumen) augmente. Celui-ci augmente lorsque la vitesse de dégradation dans le rumen du fourrage diminue et lorsque la fraction indégradable augmente. Ainsi, l'ingestibilité d'un fourrage donné décroît avec l'âge de la plante au fur et à mesure que la proportion de tiges, de tissus lignifiés et de parois végétales augmente. En pratique, augmenter l'ingestibilité consiste à récolter les fourrages classiques à un stade précoce et à obtenir la meilleure qualité de conservation possible. Cela permet également de maximiser la valeur nutritive (énergétique et azotée). Les traitements technologiques (broyage, traitement aux alcalis des pailles) améliorent d'autant plus l'ingestibilité que celle du fourrage non traité est faible. Complémentés par du concentré les fourrages les plus ingestibles restent encore les mieux ingérés. Le mode de distribution des aliments (étalement de l'ingestion du concentré, ration mélangée, fréquence des distributions de fourrage, ...) permet également de stimuler l'ingestion de fourrage.

Maximising intake of conserved forages

R. BAUMONT, J.-P. DULPHY, C. DEMARQUILLY

Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores, Centre INRA de Clermont-Fd/Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

SUMMARY – Maximising forage utilization in rations needs to use forages of high ingestibility. Forage ingestibility is mainly explained by the short-term control of intake. This control integrates the satiation process, in which physical signals (rumen fill) and chemicals signals (fermentation products in the rumen) are involved, and motivation to eat which is more or less stimulated by organoleptic properties of the forage (palatability). Ingestibility decreases when forage fill effect (retention time of dry matter in the rumen) increases. Forage fill effect increases when forage degradation rate in the rumen decreases and when the undegradable fraction increases. Thus, for a given forage, ingestibility decreases with the age of the plant as the proportion of stems, of lignified tissues and of cell-walls increases. In practice, forages of high ingestibility are achieved by harvesting at early stage and by an excellent conservation quality. This allows also to maximise the nutritive value (energy and nitrogen). Technological treatments (grinding, alkali treatment for straws) improve forage ingestibility even more when ingestibility of the untreated forage is low. Given with concentrates, the forages of highest ingestibility remain the ones that are ingested in highest amount. The way by which the ration is fed (spreading of concentrate intake, mixed ration, frequency of forage distribution, ...) is also a mean to improve forage intake.

INTRODUCTION

Les ruminants en production sont généralement alimentés avec des fourrages distribués à volonté et des aliments concentrés distribués en fonction d'un objectif de production visant à optimiser la marge brute de production. Maximiser la part de fourrage dans la ration est le principal moyen pour réduire les coûts d'alimentation, objectif qui devient d'autant plus important que la quantité produite est limitée réglementairement (quotas laitiers par exemple). Plus récemment sont apparues des préoccupations concernant l'image que le consommateur a des productions les plus intensives. Dans ce cadre là également, maximiser la part de fourrages dans les rations devient un objectif important.

Pour un animal donné, la quantité ingérée de fourrage dépend des caractéristiques du fourrage qui en déterminent l'ingestibilité et des caractéristiques de l'animal qui en déterminent la capacité d'ingestion (Jarrige, 1988). L'ingestibilité d'un fourrage est définie par la quantité de MS ingérée lorsque ce fourrage est distribué à volonté à un animal dit « standard », c'est à dire dont la capacité d'ingestion ne varie pas. L'ingestibilité des fourrages ainsi que la capacité d'ingestion des animaux s'expriment en unités d'encombrement (UE) en distinguant trois catégories d'animaux, les moutons, les vaches laitières et les autres bovins (Dulphy et al, 1987). Pour maximiser l'ingestion de fourrages on peut donc chercher à améliorer leur ingestibilité ou à augmenter la capacité des animaux à les ingérer.

L'objectif de ce texte est de présenter une brève synthèse des mécanismes de contrôle de l'ingestion qui permettent de comprendre les principaux facteurs de variation de l'ingestibilité des fourrages. Ensuite, à partir de la connaissance de ces facteurs de variation, on fera le point sur les techniques permettant d'augmenter l'ingestion des fourrages conservés. On ne traitera ici que les aspects se rapportant à l'ingestibilité des fourrages distribués à l'auge, les facteurs liés à l'animal faisant l'objet de la synthèse suivante (Faverdin et al, 1997) et l'ingestion au pâturage ayant fait l'objet de la synthèse de Peyraud et al (1995).

1. CONTROLE DE L'INGESTION ET INGESTIBILITE DES FOURRAGES

Le contrôle des quantités ingérées intègre un contrôle à court terme du comportement alimentaire qui vise à maintenir l'homéostasie de l'organisme et un contrôle à long terme qui dépend principalement des besoins nutritionnels et des réserves corporelles (Faverdin et al, 1995). L'ingestibilité des fourrages est principalement déterminée par les mécanismes de contrôle à court terme et la capacité d'ingestion par les mécanismes de contrôle à long terme.

1.1. INGESTIBILITÉ ET COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

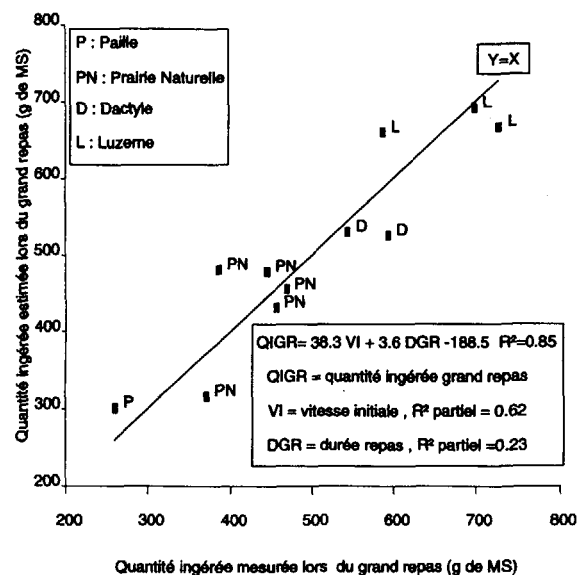
Un ruminant alimenté à volonté avec des fourrages va consacrer de 5 à 8 heures à leur ingestion. Mais 60 à 80% de l'ingestion journalière est concentrée au cours des grands repas du matin et du soir qui suivent les distributions de fourrages. Ainsi l'ingestibilité des fourrages est étroitement liée à la quantité ingérée lors des grands repas (Jarrige et al, 1995). Avec les fourrages peu ingestibles, le nombre de petits repas entre les grands repas est en général faible et ne compense pas la faible quantité ingérée lors des grands repas.

Pendant les grands repas, la motivation à ingérer est maximale au début et diminue continuellement avec le processus

de rassasiement jusqu'à l'arrêt du repas qui correspond à un état de satiété. A présentation physique comparable, la quantité ingérée lors d'un grand repas peut être estimée à partir de la vitesse d'ingestion en début de repas et de sa durée (Figure 1). La vitesse d'ingestion en début de repas traduit la motivation de l'animal à ingérer qui est le résultat de l'apprentissage des effets post-ingestifs et des qualités organoleptiques de l'aliment. L'apprentissage des effets post-ingestifs de l'aliment, et notamment de l'apport de nutriments énergétiques, a pu être démontré chez le ruminant (Provenza, 1995). La reconnaissance visuelle et olfactive de l'aliment présenté permet à l'animal d'anticiper les signaux post-ingestifs et est essentielle pour déterminer la « taille » du repas. Ainsi chez des vaches, une même quantité d'orge diminue significativement l'ingestion de foin dès sa distribution lorsque l'orge est consommée par voie orale et non lorsque elle est introduite directement dans le rumen (Baumont et al, 1994a).

Figure 1

Estimation, pour des fourrages secs, de la quantité ingérée lors du grand repas chez le mouton à partir de la vitesse initiale d'ingestion et de la durée du repas (données de R. Baumont).



1.2. INGESTIBILITÉ ET PROCESSUS DE RASSASIEMENT

Généralement la faim est une sensation désagréable et la satiété une sensation agréable. Comme l'homme, les ruminants ingèreraient la quantité d'aliments qui permet d'optimiser un état de bien-être ou de confort (Forbes, 1995). Les signaux post-ingestifs en provenance de l'aliment et qui participent au processus de rassasiement ont pour fonction de prévenir un état de malaise lié à un excès alimentaire.

1.2.1. Signaux physiques : rôle de l'encombrement du rumen

Chez des bovins alimentés à volonté avec une période d'accès de 5 heures au fourrage la quantité de digesta dans le rumen augmente en moyenne de 45 % au cours de la période de 5 heures et la quantité de MS présente dans le rumen de 80 % (Rémond et al, 1995). Avec un libre accès au fourrage et deux distributions par jour, l'encombrement du rumen atteint un premier maximum après le grand repas du matin et le maximum journalier après le grand repas du soir (Baumont et al, 1988).

Les arguments physiologiques qui démontrent le rôle de l'encombrement du rumen dans le processus de rassasiement sont de deux ordres. D'une part, des mécanorécepteurs sensibles au frottement et d'autres sensibles à la distension ont été mis en évidence dans la paroi du rumen (Leek, 1977). D'autre part, les expériences d'accroissement de l'encombrement du rumen avec du matériel indigestible donnent des résultats concordants et montrent une diminution moyenne de la quantité ingérée de 0,6 kg de MS pour un accroissement de l'encombrement équivalent à 1 kg de MS de contenu ruminal (revue de Faverdin et al, 1995).

Lorsque l'encombrement du rumen est accru avec du matériel indigestible (Baumont et al, 1990a chez le mouton, 1994b chez le bovin) les animaux augmentent le nombre des repas et le temps passé à ruminer par kg ingéré. Cette stimulation du comportement mérycique, liée à l'augmentation des stimulations mécaniques de la paroi du rumen, a pour effet d'accélérer le transit digestif ce qui tend à ramener l'encombrement du rumen à son niveau normal.

1.2.2. Signaux chimiques : rôle des nutriments

Au cours du grand repas, la fermentation rapide de la fraction soluble des aliments entraîne une augmentation de la teneur en AGV du liquide ruminal accompagnée d'une diminution du pH et d'une augmentation de la pression osmotique (Rémond et al, 1995). L'infusion d'AGV dans le rumen diminue les quantités ingérées à court terme et ce d'autant plus que le poids moléculaire des AGV infusés est faible (revue de Faverdin et al, 1995). L'influence du poids moléculaire indique que l'effet des AGV est en partie lié à un effet de la pression osmotique (Carter et Grovum, 1990). Toutefois, des infusions d'AGV comparées à des infusions de NaCl à même pression osmotique indiquent un effet propre des nutriments énergétiques dans le processus de rassasiement chez des vaches en lactation (Faverdin, 1990).

Les signaux perçus par les chémorécepteurs de la paroi du rumen permettent à l'animal d'éviter les désordres physiologiques. Cela pourrait expliquer la faible durée des grands repas avec les ensilages d'herbe qui contiennent une quantité importante d'acides et d'ammoniac, particulièrement lorsqu'ils sont mal conservés. Le grand repas se termine alors que l'encombrement du rumen est loin d'être à son maximum (Chiofalo et al, 1992). Ces grands repas, anormalement courts avec une quantité ingérée faible, sont observés aussi bien chez des moutons (Deswysen et al, 1978) que des vaches en lactation (van Os et al, 1995a).

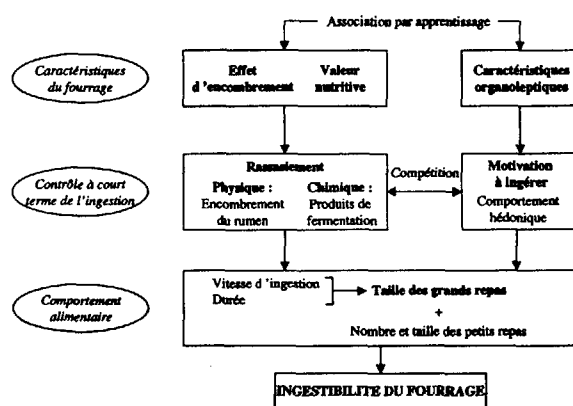
Au cours d'un grand repas, les signaux qui participent au rassasiement agissent simultanément (Figure 2) et vraisemblablement de façon additive ainsi que le montrent les effets d'un accroissement de l'encombrement et d'une infusion d'acétate dans le rumen réalisés séparément ou en même temps (Mbanya et al, 1993). Les différents signaux perçus par les viscères sont intégrés au niveau du système nerveux central et mis en balance avec les signaux provenant d'autres stimuli (Forbes, 1996).

1.3. INGESTIBILITÉ ET PALATABILITÉ

Les mécanismes de récompense peuvent induire un comportement alimentaire de nature hédonique, en compétition avec le contrôle physiologique de l'ingestion, et donc stimuler la motivation à ingérer (Figure 2). Ainsi, l'ingestion est plus que doublée lorsque des moutons reçoivent de l'herbe plutôt que de la paille alors même que la digestibilité de la ration est

maintenue constante en introduisant l'autre aliment directement dans le rumen (Greenhalgh et Reid, 1971). Ce résultat indique que l'ingestion de paille est limitée au moins autant par sa faible palatabilité que par sa faible digestibilité. Chez des animaux rassasiés par un premier repas, une distribution de fourrage peut contrebalancer les signaux de satiété et déclencher un deuxième repas (Gatel, 1984). Toutefois la taille de ce deuxième repas dépend de la qualité relative des deux fourrages (Baumont et al, 1990b). Rassasiés avec un foin de prairie de faible valeur nutritive, les moutons ingèrent 400 g de foin de luzerne et tolèrent alors un encombrement du rumen accru de 10 %. En revanche, rassasiés avec un foin de luzerne, ils n'ingèrent pas le foin de prairie.

Figure 2
Relations entre les caractéristiques du fourrage, le contrôle à court terme de l'ingestion, le comportement alimentaire et l'ingestibilité.



La palatabilité est partiellement liée à la valeur nutritive (énergétique et azotée) de l'aliment (revue de Baumont, 1996). Au cours du processus d'apprentissage les animaux associent les qualités sensorielles des aliments à leur valeur nutritive et développent des préférences pour les aliments qui permettent d'atteindre rapidement un niveau de satiété élevé (Provenza, 1995). Néanmoins, pour une valeur nutritive donnée, les qualités organoleptiques de l'aliment stimulent plus ou moins la composante hédonique du comportement alimentaire.

2. FACTEURS DE VARIATION ET PREVISION DE L'INGESTIBILITÉ

2.1. EFFETS DE L'ÂGE, DE LA DIGESTIBILITÉ ET DE LA COMPOSITION CHIMIQUE

L'ingestibilité d'une espèce végétale donnée mesurée chez le mouton dépend, comme la digestibilité, du stade de végétation et du numéro du cycle. Au cours du premier cycle de végétation, l'ingestibilité d'un fourrage décroît avec l'âge de la plante au fur et à mesure que la proportion de tiges, de tissus lignifiés et de parois végétales augmente alors que la proportion de feuilles, de contenus cellulaires, de constituants solubles et de matières azotées diminue (Demarquilly et al, 1981). Une augmentation de la teneur en cellulose brute de 1 point pour cent a pour effet de diminuer l'ingestibilité de 2,9 %, la vitesse d'ingestion étant plus affectée que la durée d'ingestion (Dulphy et al, 1980). Les relations entre l'âge, la digestibilité, la composition chimique des fourrages et leurs ingestibilités sont linéaires ou légèrement curvilinéaires selon les espèces végétales. Il en est de même chez les vaches

laitières et les jeunes bovins en croissance (Hodgson, 1977) d'où la possibilité d'équations de passage entre l'ingestibilité mesurée sur mouton et l'ingestibilité sur bovins (Dulphy et al, 1987).

A même digestibilité, les légumineuses sont ingérées en plus grande quantité que les graminées (+ 20 % environ) car leurs teneurs en parois sont plus faibles. Par ailleurs à même âge et aussi à même digestibilité, il existe entre espèces de graminées, des différences d'ingestibilité. Ainsi le dactyle au stade début épiaison est plus ingéré que les autres (Andrieu et al, 1981). A l'inverse, la fléole à tous les stades et le brome au stade floraison sont mal ingérés.

Des équations de prévision de l'ingestibilité ont pu être proposées, soit à partir de l'âge, soit à partir de la composition chimique exprimée par la teneur en cellulose brute et en matières azotées (Andrieu et al, 1981). La prévision à partir de l'âge est généralement plus précise qu'à partir de la composition chimique, l'écart-type de prévision étant compris entre 3,3 et 6,9 g de MS ingérée par kg de poids métabolique. Au deuxième cycle, les liaisons entre l'ingestibilité, et l'âge des repousses sont beaucoup moins étroites, notamment dans le cas des repousses feuillues, dont la digestibilité et la composition chimique varient dans des limites beaucoup plus étroites.

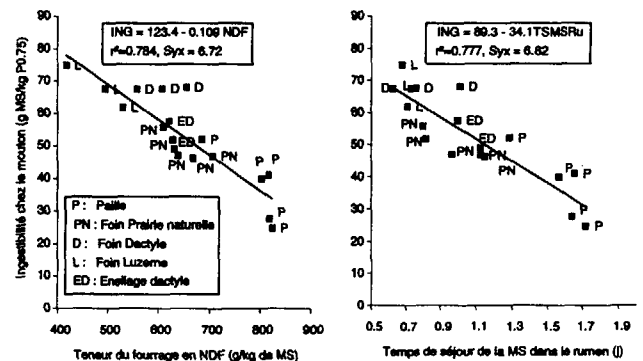
2.2. RELATION AVEC L'EFFET D'ENCOMBREMENT DU FOURRAGE

La diminution d'ingestibilité avec l'âge du fourrage est la conséquence de l'augmentation de son effet d'encombrement. L'évolution morphologique et histologique de la plante avec l'âge a pour effet de diminuer la teneur en contenu cellulaire (en majorité soluble, très rapidement dégradé et d'un encombrement pratiquement nul) et d'augmenter la teneur en parois. En conséquence le temps de séjour dans le rumen des digesta et donc l'effet d'encombrement du fourrage augmentent. En outre, la lignification des tissus augmente la partie indigestible et diminue la vitesse de digestion de la partie digestible (Grenet et Demarquilly, 1987). Le temps nécessaire à la réduction de la taille des particules, condition nécessaire à leur sortie du rumen, augmente également. Le temps de séjour dans le rumen dépend principalement de la vitesse de dégradation de la fraction dégradabile et de l'importance de la fraction indégradabile, la vitesse de transit de l'indégradabile variant dans une moindre mesure entre les fourrages (Baumont et al, 1997). Lorsque le temps de séjour du fourrage augmente, le volume disponible dans le rumen lors des grands repas diminue et les signaux physiques de rassasiement interviennent alors que la quantité ingérée est encore faible. Sur 18 fourrages pour lesquels on a mesuré le temps de séjour de la MS dans le rumen, celui-ci est étroitement corrélé ($r = -0,91$) avec l'ingestibilité (Baumont et al, 1996).

On peut donc rechercher des critères de prévision qui traduisent l'effet d'encombrement du fourrage. Ainsi la teneur en parois totales s'avère être un bon critère de prévision (Figure 3) lorsqu'on regroupe les familles et espèces végétales (Osbourm et al, 1974) ainsi que pour des foins de prairies naturelles dont la composition botanique est mal déterminée (Dulphy et al, 1990). La dégradabilité de la MS du fourrage mesurée dans le rumen par la technique des sachets de nylon après 12 ou 24 h (Demarquilly et Chenost, 1969), l'index de fibrosité, mesuré par l'énergie nécessaire au

broyage du fourrage (Chenost et Grenet, 1971) et la cinétique de production de gaz lors de la fermentation du fourrage *in vitro* (Khazaal et al, 1995) sont également de bons critères de prévision de l'ingestibilité. Le temps de séjour ruminal du fourrage peut s'exprimer à partir des paramètres issus de l'ajustement de la cinétique de dégradation de la MS en sachets de nylon (fractions dégradabile et indégradabile, taux de dégradation) et du taux de passage des digesta (Madsen et al, 1994). L'application de ce modèle très simplifié du fonctionnement du rumen (Baumont et al, 1996) permet de prévoir précisément le temps de séjour du fourrage dans le rumen mesuré directement ($r^2 = 0,89$, $Syx = 11,6\%$) et à un degré moindre l'ingestibilité chez le mouton ($r^2 = 0,73$, $Syx = 14,2\%$). Ce modèle de l'effet d'encombrement ne tient pas compte du temps nécessaire à la réduction de la taille des particules. Avec un modèle plus complet du fonctionnement du rumen distinguant deux classes de taille de particules et introduisant un taux de réduction de leur taille (D. Sauvant, R. Baumont et Ph. Faverdin, non publié), la prévision du temps de séjour ruminal est améliorée ($r^2 = 0,97$, $Syx = 6,3\%$), mais celle de l'ingestibilité ne l'est presque pas ($r^2 = 0,78$, $Syx = 13,0\%$, Figure 3). Il faudrait pouvoir tenir compte des différences de palatabilité entre les fourrages pour améliorer ce type de prévision de l'ingestibilité.

Figure 3
Prévision de l'ingestibilité chez le mouton à partir de la teneur en parois totales du fourrage (NDF) ou du temps de séjour de la MS dans le rumen estimé par la dégradabilité en sachets et un modèle du fonctionnement ruminal (données de Baumont et al, 1996).



3. COMMENT AUGMENTER L'INGESTIBILITE DES FOURRAGES CONSERVES?

Compte tenu des facteurs essentiels qui contrôlent l'ingestibilité des fourrages, les seules possibilités d'action sont de réduire l'effet d'encombrement et/ou d'augmenter la palatabilité. Les deux facteurs sont d'ailleurs liés car une palatabilité élevée est généralement associée à une bonne valeur nutritive donc à un effet d'encombrement du fourrage faible. Toutefois la qualité de conservation et les traitements technologiques peuvent agir sur la palatabilité indépendamment de la valeur nutritive.

Cependant, c'est l'augmentation de la quantité de matière organique digestible ingérée sous forme de fourrage qui est recherchée. Une ingestibilité élevée ne devra pas ou peu entraîner une diminution de la digestibilité de la matière organique (dMO). A l'intérieur d'un cycle de végétation donné l'ingestibilité variant, en général, dans le même sens que la dMO du fourrage (Demarquilly et al, 1981), l'effet sur

les performances d'une augmentation de l'ingestion liée à une récolte précoce sera amplifiée par l'augmentation de la dMO. Ainsi, pour une augmentation de 1 point de la dMO d'un ensilage d'herbe bien conservé, ce qui correspond à une date de récolte avancée de 2 journées au 1^{er} cycle, le GMQ de génisses laitières augmente de 23 g et la production de lait permise par l'ensilage de 0,45 kg (Demarquilly, 1990). En revanche, le problème de la diminution de la dMO peut se poser avec certains traitements technologiques augmentant l'ingestion comme le broyage (Demarquilly et Journet, 1967).

3.1 TECHNIQUE DE RÉCOLTE ET DE CONSERVATION

En pratique augmenter l'ingestibilité consiste à récolter les fourrages classiques à un stade précoce et à obtenir la meilleure qualité de conservation possible. En effet, l'ingestibilité d'un fourrage conservé dépend d'abord de celle du fourrage vert au moment de la fauche (Dulphy et al, 1987). Ainsi au stade début épiaison des graminées, préconisé pour l'ensilage, l'ingestibilité moyenne en vert est de 16,4 kg de MS pour une vache laitière standard, soit 1,04 UEL et de 14,8 kg à la floraison (stade « foin »), soit 1,15 UEL, alors que celle de l'herbe verte au stade pâturage correspondant à 1 UEL est de 17 kg de MS (8,5 kg pour les génisses P.N. de 400 kg). Il y a cependant un compromis à faire avec la quantité récoltée qui augmente avec l'âge. A une date de fauche donnée, le déprimage des prairies naturelles permet une augmentation nette, à la fois de la dMO et de l'ingestibilité des fourrages sans diminuer beaucoup la quantité de MS et d'éléments nutritifs récoltés à l'ha (Andrieu et Demarquilly, 1987). La technique consiste à faire pâturer tôt au printemps les prairies naturelles destinées à être fanées ou ensilées pour diminuer, par-là, la proportion d'épis lors de la fauche.

La deuxième composante pour maximiser l'ingestibilité des fourrages conservés est de faire en sorte que leur qualité de conservation soit la meilleure possible. Les différentes techniques de conservation des fourrages peuvent être classées selon la durée de séjour au sol du fourrage :

- durée nulle : ensilage direct
- durée moyenne :
 - ensilage ressuyé (≈ 25 % de MS)
 - ensilage préfané (≈ 35 % de MS)
 - ensilage mi-fané ou balles rondes enrubannées (BRE) (≈ 50 à 65 % de MS)
- durée longue : - foin (≈ 80 % de MS)

Trois facteurs jouent un rôle important sur l'ingestibilité des ensilages (Dulphy et Michalet Doreau, 1981) : i) la finesse de hachage, ii) la qualité de conservation et iii) la teneur en matière sèche. Jusqu'à une teneur en MS de 35 à 40 %, l'ingestion d'ensilage augmente lorsque le fourrage est haché finement. La qualité de conservation, qui varie en général en sens inverse de la quantité des produits de fermentation (NH₃ - AGV), a aussi un effet positif sur l'ingestion qui semble être pour partie lié à une amélioration de la palatabilité de l'ensilage (Dulphy et van Os, 1996). Avec des fourrages dont la teneur en MS est inférieure à 30-35 %, il est souvent nécessaire d'utiliser un conservateur efficace pour obtenir une excellente conservation. Des ensilages directs, hachés finement, bien conservés, avec une teneur en MS de 20 à 23 %, peuvent être aussi bien ingérés que les ensilages mi-fanés (BRE) ou les foins récoltés au même stade de végétation (Tableaux 1 et 2).

Tableau 1
Influence du mode de conservation de la prairie naturelle sur les quantités ingérées et la production laitière (synthèse de 2 essais réalisés par J.-P. Andrieu, C. Demarquilly et K. Rouel, non publiés).

	Ensilage direct avec acide formique	Balles rondes enrubannées	Foin
% de MS	20.1	62.3	84.5
Quantité ingérée (kg de MS) :			
Fourrage	13.0	12.9	12.7
Concentré	5,3	5,2	5,4
Production laitière (kg de Lait à 4%)	22,6	20,8	20,5
Valeur d'encombrement du fourrage (UEL)	1,09	1,10	1,10

Tableau 2
Influence du mode de conservation de la prairie naturelle sur les quantités ingérées et les gains de poids vif de génisses de 1 an (d'après Andrieu et al, 1992).

	Ensilage direct sans conservateur	Ensilage direct acide formique	Balles rondes enrubannées	Foin
% de MS	22,6	23,1	55,2	84,7
Quantité ingérée (kg de MS)	8,53	8,91	8,49	8,32
Gain de Poids Vif (g/j)	675	813	830	750
Valeur d'encombrement (UEB)	1,01	0,99	1,03	1,03

L'augmentation de la teneur en MS a un effet positif sur l'ingestion jusque vers 50 % de MS. En effet, récoltées à des teneurs en MS de l'ordre de 55 à 60 % les BRE ont des ingestibilités identiques à celles de foins réalisés dans de bonnes conditions (Tableaux 1 et 2). Cette technique offre en outre une grande souplesse dans la réalisation des chantiers de récolte.

Pour les foins, le recours à la ventilation en grange est la technique la plus efficace, l'ingestibilité étant alors identique ou supérieure à celle du fourrage vert. Les foins de graminées séchés au sol par beau temps ont une ingestibilité chez les bovins identique à celle du fourrage vert, alors que l'ingestibilité des foins de légumineuses est toujours plus faible à cause des pertes mécaniques en feuilles. L'ingestibilité du foin diminue s'il a reçu de la pluie et cela d'autant plus que le temps de séjour au sol est long. Il faut éviter de presser des foins dont la teneur en MS est inférieure à 80 % à cause des risques d'échauffement et de développement des moisissures. On peut utiliser des produits conservateurs pour foin humide, mais il est difficile de les incorporer au foin de façon homogène ce qui rend leur efficacité aléatoire.

On peut donc obtenir, pour les vaches laitières, des ingestibilités de l'ordre de 15 à 16 kg de MS, soit 1,06 à 1,13 UEL, sous forme de foin, de BRE ou d'ensilage ceci avec des fourrages jeunes et très bien conservés (Tableau 1). Compte tenu de la valeur énergétique de ces fourrages, les quantités de lait permises varient de 15 à 23 kg. Distribués seuls ces fourrages ne couvrent pas tous les besoins des vaches laitières à haut niveau de production, mais permettent de limiter fortement la quantité de concentré à apporter en complément. Pour les génisses ces fourrages permettent des gains de poids très éle-

vés (jusqu'à 900-1000 g/jour à 1 an) qui ne sont, en général, pas souhaitables. Il faudra alors les distribuer en quantité limitée ou, plutôt, utiliser des fourrages récoltés un peu plus tardivement que pour les vaches laitières.

3.2. CAS PARTICULIER DE L'ENSILAGE DE MAÏS

Lorsque la plante de maïs est récoltée entre 25 et 40 % de MS et que les conditions de réussite de l'ensilage sont respectées (hachage fin, remplissage rapide, tassement correct, absence de terre, fermeture correcte du silo, ...) la qualité de conservation est déjà excellente et ne sera pas améliorée par l'addition de conservateurs. En revanche, l'addition de conservateurs spécifiques pour ralentir la reprise en fermentation lors de l'ouverture des silos peut être intéressante pour les ensilages distribués en été.

La quantité d'ensilage de maïs ingérée va dépendre essentiellement de sa teneur en MS (avec un maximum pour des teneurs voisines de 35 %, du moins pour les bovins) et de sa finesse de hachage. Cependant l'ensilage de maïs doit être correctement complété en azote et en minéraux pour atteindre son ingestibilité et sa valeur nutritive potentielles (Demarquilly, 1994). Ces dernières dépendront alors essentiellement de l'hybride utilisé et des conditions de milieu. En effet si la DMO des ensilages de maïs est en moyenne de 0,72, elle peut varier de 0,67 à 0,78 (Barrière et al, 1992, Demarquilly, 1994). De même, dans des essais effectués pendant 4 années par J. Andrieu et al (résultats non publiés), la quantité d'ensilage de maïs ingérée par des vaches laitières a été, tous essais confondus, de 17,5 kg de MS, soit 0,91 UEL, mais a pu varier de 1,6 kg entre les 3 ou 4 hybrides cultivés dans la même parcelle et étudiés chaque année sur les mêmes animaux. Il reste cependant à étudier si cette variation s'explique essentiellement par des effets d'encombrement différents, i.e. des cinétiques de digestion ruminale mesurée en sachets de nylon différentes comme cela est le cas pour les fourrages classiques ou si interviennent aussi des signaux chimiques, l'ensilage de maïs étant en fait un mélange de fourrage et de grains dans un rapport voisin de 50/50.

3.3. COMMENT AMÉLIORER L'INGESTION DES FOURRAGES PEU INGESTIBLES ?

Deux types de traitement sont utilisables pour augmenter la quantité de fourrage ingérée, les traitements physiques (surtout le broyage) et les traitements chimiques. Ils concernent avant tout les fourrages pauvres (pailles) ou les foins récoltés tardivement dont l'ingestion est faible.

3.3.1 Le broyage

L'influence du broyage a surtout été étudiée pour les fourrages déshydratés qu'il est nécessaire de conditionner à la sortie de la déshydrateuse. Avec des fourrages déshydratés hachés ou broyés distribués à des moutons, l'ingestibilité augmente lorsque la taille des particules diminue (Jarrige et al, 1995). La durée d'ingestion diminue et la vitesse d'ingestion augmente considérablement. Cependant, si le broyage est trop fin (en dessous de 0,75 mm pour les légumineuses et de 0,50 mm pour les graminées) la réponse de l'animal s'inverse. Le broyage est d'autant plus efficace pour augmenter l'ingestibilité que celle du fourrage initial est faible. (Demarquilly et Journet, 1967). Le broyage, suivi d'une agglomération, peut être utilisé pour les pailles (Chenost et Dulphy, 1987) et les foins. Cependant, il peut entraîner une baisse, en particulier pour les foins de graminées, de la DMO, par suite

d'une accélération du transit digestif. Cette technique ne s'est pas développée en raison de son coût élevé en énergie.

3.3.2. Les traitements chimiques

L'effet du traitement des pailles aux alcalis (soude, ammoniac) a fait l'objet de nombreuses études, notamment sur génisses.

Le traitement des pailles aux alcalis est relativement efficace sur l'ingestion qui passe de 4,1 à 5,9 kg de MS dans 17 comparaisons soit une augmentation de 44% (Chenost et Dulphy, 1987). Cependant le traitement à la soude a été quasiment abandonné car il ne permet pas de corriger la carence en azote des fourrages pauvres et entraîne des rejets importants de sodium dans les urines. En revanche le traitement à l'ammoniac, qui permet d'améliorer la valeur azotée, est intéressant pour les pailles (Chenost et Dulphy, 1987). Cependant son efficacité est faible pour les foins, même tardifs (Agabriel et al, 1987).

Le traitement à l'urée (générateur de l'ammoniac) est moins connu, mais l'urée étant plus facile à manipuler, il peut être mis en œuvre presque partout. Son efficacité est proche de celle de l'ammoniac à condition que l'uréolyse soit totale ou presque. Lorsque l'uréolyse est insuffisante, le traitement à l'urée peut diminuer l'ingestibilité par une diminution de la palatabilité et peut-être aussi à cause de teneurs élevées en ammoniac dans le jus de rumen (Dulphy et al, 1992).

3.3.3. Additifs de palatabilité

La mauvaise palatabilité des ensilages d'herbe mal conservés serait due à un effet spécifique de l'acide acétique (Buchanan-Smith, 1990) et à la présence d'amines en forte concentration (van Os et al, 1995b). L'addition d'agents de saveur, contenant notamment de la vanilline, à de l'ensilage d'herbe permet d'augmenter son ingestion de 8 % pendant une période de 8 semaines indépendamment de la qualité de conservation (Weller et Phipps, 1989). Toutefois, ni la production laitière, ni la composition du lait n'ont été modifiées. L'effet de la mélasse dépend de la palatabilité du fourrage offert seul. Ainsi, elle permet d'augmenter l'ingestion d'un ensilage d'herbe mal conservé ou de faire pâturer des plantes souillées par des déjections, mais elle n'a pas d'effet sur l'ingestion d'un ensilage bien conservé (Weller et Phipps, 1989) ou de pellets de foin de bonne qualité. Chez le mouton, la pulvérisation du foin avec de l'acide butyrique et du glutamate monosodique augmente la préférence à court terme pour le foin traité et l'ingestion de 10 % (Gherardi et al, 1991). Cependant, si la palatabilité initiale du fourrage est bonne, une augmentation durable de son ingestibilité nécessite vraisemblablement aussi une amélioration de sa valeur nutritive (Baumont, 1996).

3.4. EFFET DU RATIONNEMENT SUR LES QUANTITÉS INGÉRÉES DE FOURRAGE

3.4.1. Effet de la complémentation

Energie : L'apport, nécessaire en général, de concentré aux vaches laitières entraîne une baisse des quantités ingérées de fourrage, phénomène que l'on caractérise par le taux de substitution de l'aliment concentré au fourrage (Jarrige, 1988). Pour un fourrage donné, le taux de substitution augmente avec la quantité de concentré apportée. Pour une quantité donnée de concentré, le taux de substitution est positivement lié à la valeur énergétique et à l'ingestibilité du fourrage (Faverdin et al, 1992). Ainsi, le taux de substitution est plus

élevé avec des fourrages jeunes qu'avec des fourrages âgés, avec des ensilages de maïs qu'avec des ensilages d'herbe. Il peut même être négatif dans le cas des fourrages pauvres comme les pailles. Toutefois il ne faut pas perdre de vue que les fourrages les mieux ingérés lorsqu'ils sont distribués seuls le demeurent encore quand ils sont distribués avec du concentré, et cela d'autant plus qu'ils nécessitent souvent une complémentation moindre en concentré.

Le taux de substitution augmente avec la valeur énergétique du concentré et varie légèrement avec sa composition (Faverdin et al, 1992). Il est un peu plus faible pour les concentrés riches en fibres digestibles (pulpes de betterave) que pour ceux à base de céréales, ces dernières diminuant la cellulolyse dans le rumen.

Azote : Pour maximiser l'ingestion des fourrages, l'azote (et certains minéraux) ne doit pas être un facteur limitant de l'activité cellulolytique des microbes du rumen. C'est ainsi que l'apport de complément azoté améliore la vitesse de digestion et donc le niveau d'ingestion des fourrages carencés comme les pailles. Par exemple, les quantités ingérées par des génisses avec des régimes à base de paille augmentent de 32 % lorsque la teneur en matières azotées du régime passe de 3,6 à 8,2 % (revue de Chenost, 1987).

3.4.2. Effet du mode de distribution de la ration

Pour maximiser l'ingestion de fourrage, il peut être intéressant de fractionner la distribution de l'aliment concentré, surtout si l'animal en reçoit des quantités importantes. Avec des rations riches en concentré, fractionner l'apport de concentré en 7 repas, stabilise et augmente le pH ruminal, ce qui favorise l'activité cellulolytique et augmente la digestibilité de la ration ainsi que la quantité de fourrage ingérée (Kaufmann, 1976).

Le fractionnement de l'apport de concentré peut être réalisé avec un D.A.C. ou avec une ration mélangée complète. Ce

type de ration augmente en général les quantités ingérées de fourrage (Hoden et Giger, 1984). En plus de l'effet positif de l'étalement de l'ingestion du concentré, les machines utilisées pour préparer la ration hachent généralement les aliments ce qui réduit la taille des particules du fourrage et donc son effet d'encombrement. Toutefois l'augmentation des quantités ingérées n'entraîne pas toujours une augmentation des performances (Dulphy et al, 1994).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Maximiser l'ingestion des fourrages conservés repose avant tout sur l'optimisation des dates de récolte et sur la préparation de fourrages bien conservés. Cela permet d'optimiser simultanément l'ingestibilité et la valeur nutritive des fourrages. Les traitements technologiques améliorent l'ingestibilité d'autant plus que celle du fourrage non traité est faible. Leur utilisation dépend alors de la facilité de leur mise en œuvre et de leur coût. A l'échelle de l'exploitation, il faut raisonner sur l'ensemble de la récolte fourragère et sur l'exploitation du pâturage. Ainsi récolter tôt au premier cycle va permettre d'exploiter plus tôt des repousses plus abondantes et de meilleure qualité.

Une utilisation plus économe des aliments concentrés se heurte à la difficulté de prévoir l'ingestibilité des fourrages, notamment pour les bovins. Les connaissances récentes sur le contrôle de l'ingestion indiquent que la motivation à ingérer joue probablement un rôle important. Le rôle de la palatabilité est encore mal connu et partiellement confondu avec celui de la valeur nutritive et de l'effet d'encombrement. Toutefois il devrait permettre d'expliquer une part de la variabilité résiduelle des modèles de prévision de l'ingestibilité. D'un point de vue pratique, des progrès sont vraisemblablement possibles dans la façon d'affourager les animaux (association de plusieurs fourrages, ordre et fréquence de distribution, ...) afin de stimuler leur appétit pour les fourrages.

RÉFÉRENCES

AGABRIEL J., DULPHY J.-P., MICOL D., 1987. In C. DEMARQUILLY (Editor), Les Fourrages secs : récolte, traitement, utilisation. INRA Editions, 283-318.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., WEGAT-LITRE E., 1981. In C. DEMARQUILLY (Editor), Prévision de la Valeur Nutritive des Aliments des Ruminants, INRA Editions, 520-577.

ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., 1987. In C. DEMARQUILLY (Editor), Les Fourrages secs : récolte, traitement, utilisation. INRA Editions, 163-182.

ANDRIEU J.-P., DEMARQUILLY C., ROUEL J., 1992. INRA Prod. Anim., 5, 205-212

BARRIERE Y., EMILE J.-C., TRAINEAU R., HEBERT Y., 1992. INRA Prod. Anim., 5, 247-255

BAUMONT R., DULPHY J.-P., ANDRIEU J.-P., 1988. Reprod. Nutr. Dev., 28, 573-588.

BAUMONT R., MALBERT C.H., RUCKEBUSCH Y., 1990a. Anim. Prod., 50, 123-128.

BAUMONT R., SEGUIER N., DULPHY J.-P., 1990b. J. Agric. Sci., 115, 277-284.

BAUMONT R., DAVEAU O., PERPÈRE C., 1994a. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, 3, 122.

- BAUMONT R., JAMOT J., DARDILLAT C., 1994b. *Ann. Zootech.*, 43, 285
- BAUMONT R., BARLET A., JAMOT J., 1996. *Renc. Rech. Ruminants*, 3, 313-316
- BAUMONT R., 1996. *INRA Prod. Anim.*, 9, 349-358
- BAUMONT R., JAILLER M., DULPHY J.-P., 1997. *Ann. Zootech.*, 46, 231-244
- BUCHANAN-SMITH J.-G., 1990. *Anim. Prod.*, 50, 253-260
- CARTER R.-R., GROVUM W.-L., 1990. *Brit. J. Nutr.*, 64, 285-299
- CHENOST M., GRENET E., 1971. *Ann. Zootech.*, 20, 427-435
- CHENOST M., 1987. In C. DEMARQUILLY (Editor), *Les Fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*. INRA Editions, 183-198.
- CHENOST M., DULPHY J.-P., 1987. In C. DEMARQUILLY (Editor), *Les Fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*. INRA Editions, 199-230.
- CHIOFALO V., DULPHY J.-P., BAUMONT R., 1992. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 32, 377-392.
- DEMARQUILLY C., JOURNET M., 1967. *Ann. Zootech.*, 16, 123-150
- DEMARQUILLY C., CHENOST M., 1969. *Ann. Zootech.*, 18, 419-436.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., WEISS Ph., 1981. In C. DEMARQUILLY (Editor), *Prévision de la Valeur Nutritive des Aliments des Ruminants*, INRA Editions, 155-167.
- DEMARQUILLY C., 1990. In *Symposium International sur l'Ensilage d'Herbe, Rouyn-Noranda (Canada)*, 93-104.
- DEMARQUILLY C., 1994. *INRA Prod. Anim.*, 7, 177-189
- DESWYSEN A.-G., VANBELLE M., FOCANT M., 1978. *J. Brit. Grassl. Soc.*, 33, 107-115.
- DULPHY J.-P., REMOND B., THERIEZ M., 1980. In RUCKEBUSCH Y., THIVEND P. (Editors), *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*, 103-122.
- DULPHY J.-P., MICHALET-DOREAU B., 1981. In C. DEMARQUILLY (Editor), *Prévision de la Valeur Nutritive des Aliments des Ruminants*, INRA Editions, 169-187.
- DULPHY J.-P., FAVERDIN Ph., MICOL D., BOCQUIER F., 1987. *Bull. Tech. CRZV Theix*, 70, 35-48
- DULPHY J.-P., JAILLER M., JAMOT J., BOUSQUET H., 1990. *Fourrages*, 121, 65-78
- DULPHY J.-P., JAMOT J., CHENOST M., BESLE J.-M., CHIOFALO V., 1992. *Ann. Zootech.*, 41, 169-185.
- DULPHY J.-P., ROUEL J., BONY J., ANDRIEU J.-P., 1994. *Ann. Zootech.*, 43, 113-123
- DULPHY J.-P., VAN OS M., 1996. *Reprod. Nutr. Develop.*, 36, 113-135
- FAVERDIN P., 1990. *Reprod. Nutr. Dev.*, suppl. 2, 213s-214s.
- FAVERDIN P., DULPHY J.-P., COULON J.-B., VERITE R., GAREL J.-P., ROUEL J., MARQUIS B., 1992. *INRA Prod. Anim.*, 5, 127-135
- FAVERDIN P., BAUMONT R., INGVARSEN K.-L., 1995. In JOURNET M., GRENET E., FARCE M.-H., THERIEZ M., DEMARQUILLY C. (Editors), *Recent developments in the nutrition of herbivores*. INRA Editions. 95-120.
- FAVERDIN P., AGABRIEL J., INGRAND S., BOCQUIER F., 1997. *Renc. Rech. Ruminants*, 4, ce numéro
- FORBES J.-M., 1995. In CAB INTERNATIONAL (Editor), *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. 532 p
- FORBES J.-M., 1996. *J. Anim. Sci.*, 74, 3029-3035
- GATEL F., 1984. *Ann. Zootech.*, 33, 111-118
- GHERARDI S.-G., BLACK J.-L., COLEBROOK W.-F., 1991. *Aust. J. Agric. Res.*, 42, 585-598
- GREENHALGH J.-F.-D., REID G.-W., 1971. *Brit. J. Nutr.*, 26, 107-116
- GRENET E., DEMARQUILLY C., 1987. In C. DEMARQUILLY (Editor), *Les Fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*. INRA Editions, 141-162.
- HODEN A., GIGER S., 1984. *Bull. Tech. CRZV Theix*, 58, 45-50
- HODGSON J., 1977. In *Proc. Int. Meeting on Animal Production from Temperate Grassland*, Dublin, 70-75.
- JARRIGE R., 1988. In JARRIGE R. (Editor), *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA Editions, 29-56.
- JARRIGE R., DULPHY J.-P., FAVERDIN P., BAUMONT R., DEMARQUILLY C., 1995. In JARRIGE R., RUCKEBUSCH Y., DEMARQUILLY C., FARCE M.-H., JOURNET M., (Editors), *Nutrition des Ruminants Domestiques*. INRA Editions, 123-181.
- KAUFMANN W., 1976. *Livest. Prod. Sci.*, 3, 103-114
- KHAZAAL K., DENTINHO M.-T., RIBEIRO J.-M., ORSKOV E.-R., 1995. *Anim. Sci.*, 61, 527-538
- LEEK B.-F., 1977. *Brit. Med. Bull.*, 33, 163-168
- MADSEN J., STENSIG T., WEISBJERG M.-R., HVELPLUND T., 1994. *Livest. Prod. Sci.*, 39, 43-47.
- MBANYA J.-N., ANIL M.-H., FORBES J.-M., 1993. *Brit. J. Nutr.*, 69, 713-720.
- OSBOURN D.-F., TERRY R.-A., OUTEN G.-E., CAMMELL S.-B., 1974. In *Proc. 12th Int. Grassl. Congr.*, Moscow, III, 374-380.
- PEYRAUD J.-L., DELAGARDE R., DELABY L., 1995. *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 37-44
- PROVENZA F.-D., 1995. *J. Rang. Manag.*, 48, 2-17.
- REMOND B., BRUGERE H., PONCET C., BAUMONT R., (1995) In R. JARRIGE, Y. RUCKEBUSCH, C. DEMARQUILLY, M.-H. FARCE, M. JOURNET, (Editor) *Nutrition des Ruminants Domestiques*. INRA Editions, 253-298.
- VAN OS M., DULPHY J.-P., BAUMONT R., 1995a., *Ann. Zootech.*, 44, 73-85
- VAN OS M., DULPHY J.-P., BAUMONT R., 1995b, *Brit. J. Nutr.*, 73, 51-64
- WELLER R.-F., PHIPPS R.-H., 1989. *J. Agric. Sci.*, 112, 67-71.