La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation

René Baumont, Jocelyne Aufrere, Francois Meschy

▶ **To cite this version:**

René Baumont, Jocelyne Aufrere, Francois Meschy. La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation. Fourrages, 2009, 198 (198), pp.153-173. hal-01173473

HAL Id: hal-01173473
https://hal.science/hal-01173473

Submitted on 29 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation

R. Baumont[1], J. Aufrère[1], F. Meschy[2]

C'est en combinant les pratiques de culture, de récolte et de conservation que l'agriculteur peut trouver le meilleur compromis entre la quantité de fourrage récolté et sa valeur alimentaire. Mais les exigences environnementales actuelles remettent en cause certaines pratiques qui ont permis l'intensification fourragère...

RÉSUMÉ

Ce texte de synthèse fait le point sur les connaissances acquises par l'INRA sur la valeur alimentaire des fourrages et ses variations avec les pratiques de culture, de récolte et de conservation. Les Tables INRA, récemment complétées, proposent des valeurs de composition chimique, de valeur nutritive, d'ingestibilité et de valeur minérale pour une grande diversité de fourrages et de modalités. Ces valeurs de référence permettent d'estimer la valeur d'un fourrage, estimation qui peut être affinée par des outils de prévision lorsqu'une analyse chimique est faite. Ces données sont indispensables au rationnement des animaux et au raisonnement des systèmes fourragers. A l'avenir, ces tables devraient s'enrichir de critères de prévision des flux d'ingestion et de digestion, et d'autres caractérisant l'intérêt des fourrages pour la qualité des produits animaux.

MOTS CLÉS

Composition chimique du fourrage, conservation de la récolte, évolution, fertilisation, fertilisation azotée, fourrage, légumineuse, maïs, pâturage, prairie, prévision, recherche scientifique, séchage en grange, sorgho fourrager, stade de récolte, valeur alimentaire, valeur azotée, valeur énergétique.

KEY-WORDS

Barn drying, change in time, chemical composition of the forage, crop conservation, cutting stage, energy value, feeding value, fertilisation, forage, forage maize, forecast, grassland, grazing, legume, nitrogen fertilisation, nitrogen value, scientific research, sorghum.

AUTEURS

1 : INRA UR 1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès Champanelle ; baumont@clermont.inra.fr

2 : INRA-AgroParisTech, UMR Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16, rue Claude Bernard, F-75231 Paris 05

Maximiser la valeur alimentaire des fourrages est un élément clé pour limiter le recours aux aliments complémentaires dans l'alimentation des animaux et ainsi réduire les coûts de production et accroître l'autonomie alimentaire des systèmes d'élevage d'herbivores. Dans un milieu donné, c'est en combinant les pratiques de culture (choix des espèces et des variétés, fertilisation, irrigation), les pratiques de récolte (dates et fréquence de fauche, modalités de gestion du pâturage) et de conservation (types d'ensilage et de foin) que l'on peut trouver le meilleur compromis entre la quantité de matière sèche récoltée à l'hectare et sa valeur alimentaire. Aujourd'hui, les exigences environnementales auxquelles les élevages doivent faire face remettent en cause certaines pratiques qui ont permis l'intensification fourragère. Il en est ainsi de la culture du maïs, en particulier à cause de ses besoins en eau, et plus globalement des pratiques de fertilisation des cultures fourragères. Les pratiques de récolte précoce, en limitant la floraison, sont jugées défavorables à la biodiversité et à d'autres fonctions environnementales des prairies comme la pollinisation. Les techniques de récolte en ensilage sont maintenant interdites par certains cahiers des charges en production de fromage AOC.

A la lumière de ce nouveau contexte, il est important de se réinterroger sur les variations de la qualité des fourrages selon les pratiques de culture, de récolte et de conservation. Les recherches conduites à l'INRA sur la valeur des fourrages permettent de comprendre les principaux déterminants des valeurs énergétiques et azotées, de la valeur d'encombrement et des valeurs minérales des fourrages. Concrètement, cela se traduit par la publication de tables périodiquement actualisées et complétées qui permettent de disposer de valeurs de référence selon les modes de récolte et de conservation pour les principales espèces fourragères utilisées dans les zones tempérées. Ces tables sont accompagnées de méthodes de référence pour prévoir la valeur des fourrages.

Dans ce texte, nous proposons une lecture "compréhensive" des tables INRA rappelant les grands concepts de la valeur alimentaire, les avancées majeures des nouvelles tables (Baumont *et al.*, 2007a et b) et illustrant l'effet des pratiques de culture (fertilisation minérale), de récolte (âge…) et des modes de conservation sur l'ingestibilité, la valeur énergétique et azotée, les teneurs en minéraux absorbables. Cette lecture "compréhensive" doit aider à mieux raisonner les choix des techniques fourragères selon les objectifs de qualité à atteindre. Dans une dernière partie, nous proposons quelques pistes de recherche d'une part sur des fourrages mal connus, et d'autre part pour enrichir les tables de nouveaux critères pouvant contribuer à une meilleure prise en compte des objectifs de qualité des produits et de santé animale.

1. Déterminants et évaluation de la valeur alimentaire des fourrages

Les processus de base et leur expression dans les unités d'alimentation

La **valeur énergétique** des fourrages s'exprime par leur teneur en énergie nette dans le système des unités fourragères (UFL, UFV). Le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette des aliments est la digestibilité de l'énergie brute qu'ils contiennent et qui est très étroitement liée à la digestibilité de la matière organique (dMO). Ainsi que nous l'avons rappelé récemment (Baumont *et al.*, 2008), la dMO d'une plante fourragère dépend essentiellement de sa teneur en parois végétales et de leur digestibilité. En effet, la digestibilité des constituants intracellulaires est totale (sucres, fructosanes) ou très élevée (lipides, matières azotées), alors que celle des parois cellulaires varie entre 40 et 90% selon qu'elles sont plus ou moins incrustées de lignine. Ce raisonnement s'applique également aux céréales fourragères, puisque la digestibilité du grain est très élevée et constante (85%). Des liaisons très étroites ont pu être établies d'une part pour le maïs (Andrieu *et al.*, 1993) et d'autre part pour les graminées et les légumineuses fourragères (Baumont *et al.*, 2007a) entre la quantité de parois indigestibles présentes dans un fourrage et sa digestibilité et, par conséquent, sa valeur énergétique (figure 1a). Quelle que soit la famille de la plante fourragère, une augmentation de la teneur en parois indigestibles de 10 g/kg de MS entraîne une diminution de la digestibilité de 1 point et de la valeur UFL de 0,02 unité. Rappelons que la teneur en parois végétales augmente avec la croissance de la plante, et que la digestibilité des parois diminue avec le vieillissement des tissus (revue de Duru *et al.*, 2008). On comprend donc aisément la diminution de la valeur

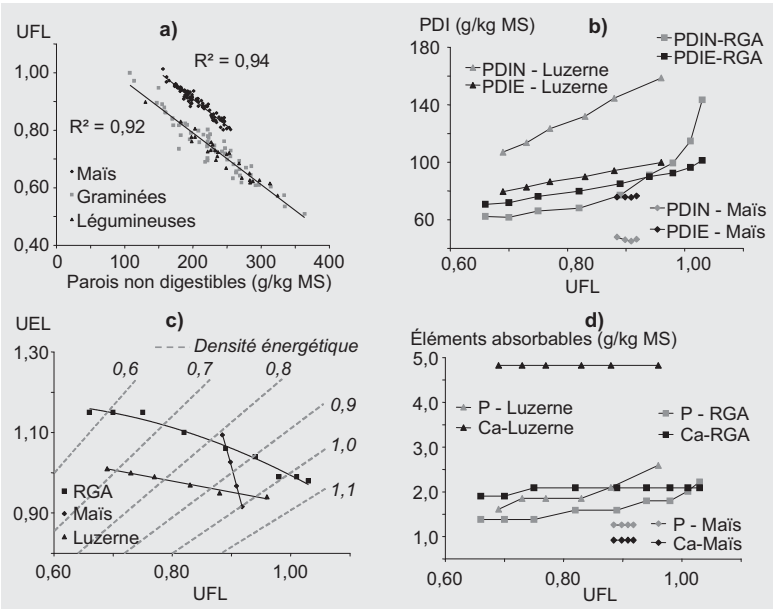


FIGURE 1 : **Relations entre la valeur énergétique des fourrages** (UFL) **et a) leur teneur en parois végétales non digestibles** (données issues de Andrieu *et al.* (1993) et de Baumont *et al.* (2007a))**, b) leur valeur azotée, c) leur valeur d'encombrement et d) leur teneur en minéraux absorbables** (données des *Tables INRA* pour le maïs en vert, pour le ray-grass anglais (RGA) et la luzerne au 1er cycle de végétation (Baumont *et al.*, 2007b)).

FIGURE 1 : ***Relationships between the energy value of the forages*** *(Feed Units for lactation)* ***and a) their undigestible cell all content*** *(data from Andrieu et al. (1993) and Baumont et al. (2007a))****, b) their nitrogen value, c) their fill value, d) their absorbable mineral contents*** *(data from INRA Tables for fresh forage maize, perennial ryegrass (RGA), and lucerne at the first growing cycle (Baumont et al., 2007b)).*

énergétique avec l'âge de la plante ou le stade de végétation au cours des cycles reproducteurs. Lente tant que la plante est végétative, la diminution de la valeur énergétique s'accélère pour les graminées à partir de la montaison. Elle est plus linéaire pour les légumineuses. Pour les céréales comme le maïs, l'enrichissement de la plante en grain et donc en amidon vient compenser la diminution de la digestibilité des tiges et des feuilles. En conséquence, la valeur énergétique du maïs augmente légèrement avec le stade de végétation à la récolte.

La **valeur azotée** des fourrages s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) afin d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen. On distingue la valeur PDIN qui représente la valeur PDI de l'aliment s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable, et la valeur PDIE qui représente la valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant des synthèses microbiennes. La valeur PDIN est directement liée à la teneur en matières azotées dégradables dans le rumen et même plus simplement à la teneur en MAT ; la valeur PDIE est liée à la digestibilité. Les fourrages dont la teneur en MAT dégradables est inférieure à 100 g/kg, ce qui correspond à une teneur en MAT de l'ordre de 130 g/kg, sont généralement déficitaires en PDIN par rapport à leur valeur PDIE. C'est le cas des graminées récoltées à un stade tardif ou peu fertilisées et du maïs. En revanche, les graminées exploitées à un stade précoce et plus encore les légumineuses sont excédentaires en PDIN par rapport à leur valeur PDIE. Pour les graminées et les légumineuses fourragères, la valeur azotée augmente avec la valeur énergétique (figure 1b). A même valeur énergétique, les légumineuses ont une valeur azotée supérieure à celle des graminées, particulièrement en PDIN, du fait de leur teneur en MAT plus élevée. A l'inverse, la valeur azotée du maïs est plus faible, en particulier pour la valeur PDIN, du fait de sa faible teneur en MAT.

Les **unités d'encombrement** (UE) expriment l'ingestibilité des fourrages, c'est-à-dire leur capacité à être ingérés en plus ou moins grande quantité lorsqu'ils sont distribués à volonté. Plus un fourrage est encombrant, moins il est ingestible. L'encombrement d'un fourrage est proportionnel à son temps de séjour dans le rumen qui dépend du temps nécessaire à sa digestion par les micro-organismes et à sa réduction en petites particules pouvant être évacuées dans la suite du tube digestif. Ce temps de séjour est lié à la teneur en parois végétales du fourrage (Baumont *et al.*, 2000) et la valeur d'encombrement des fourrages augmente avec celle-ci. Au sein d'une même famille botanique, la valeur d'encombrement est négativement liée à la valeur énergétique car les fourrages de valeur énergétique élevée ont des teneurs en parois végétales faibles (figure 1c). Ainsi, les fourrages dont la valeur UFL est supérieure à 0,9 sont également très ingestibles et leur densité énergétique (UF/UE) est élevée (> 0,9). A même valeur énergétique, les légumineuses sont moins encombrantes que les graminées car leur teneur en parois végétales est plus faible. Toutes choses égales par ailleurs, la valeur d'encombrement d'un fourrage dépend aussi de sa teneur en matière sèche, l'ingestibilité augmentant avec celle-ci. Cela a été montré pour les fourrages verts (Cabrera *et al.*, 2004) et c'est ce qui peut expliquer la variation

relativement importante de l'ingestibilité du maïs avec sa teneur en matière sèche à la récolte alors que la valeur énergétique varie peu.

Pour les **éléments minéraux majeurs**, phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na) et chlore (Cl), les besoins des animaux et l'apport alimentaire s'expriment désormais en **éléments absorbables**, notion qui recouvre la teneur en éléments minéraux (résultat de l'analyse) et le coefficient d'absorption réelle (CAR), la valeur minérale d'un fourrage résultant du produit des deux (Meschy, 2007). Des valeurs de CAR sont désormais affectées aux aliments. Selon les éléments minéraux, la quantité de données expérimentales disponible autorise une plus ou moins grande précision ; ainsi, pour le phosphore, les valeurs de CAR varient selon la famille botanique et le mode de conservation du fourrage alors que, pour le calcium, seul l'effet de la famille botanique a pu être pris en compte. La **teneur minérale des fourrages** varie fortement avec la famille botanique (figure 1d). La liaison positive avec la valeur énergétique pour le phosphore traduit les effets du stade de végétation. Les valeurs de CAR du magnésium ne sont pas disponibles car elles sont fortement et négativement liées à la teneur en potassium de la ration ; pour cette raison, une correction globale basée sur la teneur en K de la ration totale a été proposée (Meschy et Corrias, 2005). Pour les électrolytes (K, Na et Cl), le CAR est toujours élevé et varie peu, et la valeur unique de 90% a été adoptée ; les valeurs en électrolytes absorbables ne figurent pas dans les tables 2007. Les teneurs en oligo-éléments, qui ont également été actualisées, sont toujours exprimées comme les besoins des animaux en concentrations brutes.

Les nouvelles *Tables INRA* de la valeur alimentaire des fourrages

Les *Tables INRA* (2007) de la valeur des fourrages résultent des mesures chez le mouton de la digestibilité et de l'ingestibilité des fourrages distribués en vert. Plus de 1 500 mesures obtenues pour les principales familles botaniques, espèces végétales ou types de prairie, et les principaux cycles et stades de végétation ont été rassemblées. Les valeurs des fourrages conservés sont construites à partir de celles des fourrages verts correspondants et des effets des différents modes de récolte et de conservation qui ont été quantifiés dans des études spécifiques. L'importante base de données qui sous-tend les *Tables INRA* leur confère une grande richesse par rapport à celles de nombreux autres pays (Grande-Bretagne, USA, Allemagne, Pays-Bas...) (Baumont *et al.*, 2005).

Les nouvelles tables proposent une caractérisation plus complète de la **composition en constituants pariétaux des fourrages**. Les teneurs en NDF et ADF des fourrages verts ont été estimées à partir d'équations de calibration obtenues en spectrométrie dans le proche infrarouge sur 220 échantillons représentatifs des fourrages des tables (Andueza *et al.*, 2005). La **digestibilité des constituants pariétaux** a été estimée à partir des relations établies entre la teneur en parois non digestibles du fourrage et la digestibilité de la matière organique (figure 1a).

Les **valeurs PDI des fourrages** de graminées, de légumineuses et de prairies permanentes ont été entièrement revues à partir d'une meilleure évaluation des effets de la famille botanique, du cycle de végétation, du mode de conservation du fourrage et de sa teneur en azote sur sa dégradabilité dans le rumen et sur la digestibilité de l'azote alimentaire dans l'intestin (Nozières *et al.*, 2007). Ce sont principalement les valeurs PDIE qui sont modifiées. Par rapport aux tables précédentes, elles diminuent légèrement au premier cycle de végétation pour les stades précoces et augmentent pour les stades tardifs. Les valeurs des autres cycles augmentent de 3 g/kg MS en moyenne. Pour les fourrages conservés, les valeurs des foins augmentent de 2 à 3 g/kg MS en moyenne. En revanche, celles des ensilages d'herbe réalisés en coupe directe diminuent, de 8 g/kg MS en moyenne pour les ensilages avec conservateur.

Lors de la mise à jour des données de **composition minérale des fourrages**, une diminution marquée de la teneur minérale des fourrages a été constatée ; elle concerne la majorité des espèces végétales et la quasi-totalité des éléments minéraux. Les données précédentes datent d'une vingtaine d'années, et cet "appauvrissement" s'explique vraisemblablement par une augmentation de la productivité fourragère (phénomène de dilution), des pratiques de fertilisation plus modérées et le fait que la sélection végétale porte sur la matière organique (énergie et azote) et, par conséquent, agit au détriment du contenu minéral. Pour une actualisation réaliste des tables de composition et pour éviter des erreurs importantes de rationnement, un nouveau jeu de données a été constitué sur la base d'échantillons ayant moins de 5 ans d'âge.

Au niveau des **types de fourrages,** nous avons revu les valeurs du maïs fourrage et accru le nombre de types d'ensilages pour être plus représentatifs de la diversité rencontrée en pratique. Nous avons ainsi introduit les **ensilages mi-fanés** (généralement réalisés par la technique des balles rondes enrubannées). Des valeurs de référence pour des ensilages mi-fanés réalisés à 55% de matière sèche ont été estimées à partir de 30 essais dans lesquels un fourrage mi-fané a été comparé avec soit le fourrage vert de départ, soit l'ensilage direct ou préfané correspondant, ou encore avec le foin. A même stade de végétation, les valeurs des ensilages mi-fanés sont logiquement intermédiaires entre celles des ensilages préfanés et celles des foins récoltés par beau temps.

Pour le **maïs fourrage**, la composition chimique et la valeur énergétique ont été actualisées à partir des 254 mesures de digestibilité *in vivo* réalisées sur le maïs en vert (Andrieu *et al.*, 1993 ; Andrieu et Aufrère, 1996). Si les valeurs énergétiques évoluent peu en moyenne (Barrière *et al.*, 2004), les teneurs en matières azotées du maïs fourrage ont diminué sensiblement par rapport aux valeurs des Tables de 1988 (Michalet-Doreau *et al.*, 2004). Les valeurs de l'ingestibilité de l'ensilage de maïs pour les vaches laitières ont été revues à partir de 71 mesures d'ingestion d'ensilages de maïs chez des vaches laitières obtenues à l'INRA (48 à Lusignan et 23 à l'INRA des Monts-Dore). L'analyse de ces données conduit à des valeurs d'encombrement plus faible de 10% environ à celles de 1988, et qui

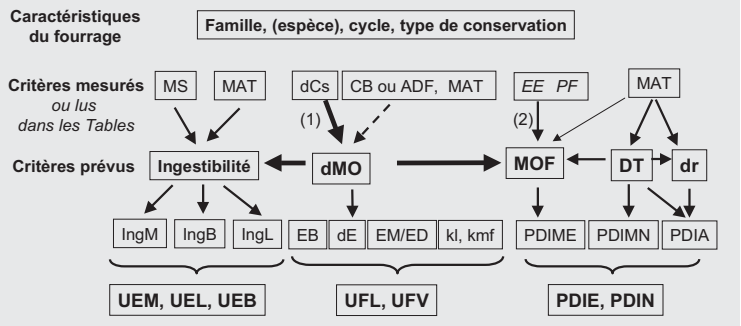
varient entre 1,09 et 0,91 pour les ensilages réalisés dans des conditions de végétation normales. Au final aujourd'hui, encore plus qu'hier, le maïs ensilage est un fourrage qui permet de couvrir une partie importante des besoins énergétiques des animaux, mais qui est très "carencé" en protéines et en minéraux.

Les méthodes de prévision de la valeur alimentaire des fourrages

En complément des tables, **des équations de prévision de la valeur alimentaire** sont proposées et font référence pour le calcul de la valeur des fourrages. Basées sur des critères d'estimation fiables, ces équations ont des portées très générales. Pour faciliter l'utilisation des méthodes de prévision, elles ont été regroupées, hiérarchisées et mises en cohérence avec les tables dans le logiciel PrévAlim (BAUMONT *et al.*, 1999, figure 2), ce qui permet aujourd'hui de simplifier et d'uniformiser les méthodes de calcul pour tous les laboratoires français.

Des équations de prévision de la valeur alimentaire ont d'abord été proposées par espèce végétale et cycle de végétation à partir de la composition chimique mesurée sur le fourrage vert ou le fourrage conservé (INRA, 1981). Une méthode plus synthétique de prévision de la digestibilité, paramètre clé de la prévision de la valeur alimentaire, a été ensuite proposée à partir de la mesure de la digestibilité enzymatique (pepsine et cellulase) pour les fourrages à base d'herbe (AUFRÈRE et DEMARQUILLY, 1989) et pour le maïs (ANDRIEU et AUFRÈRE, 1996). Rappelons que, pour estimer les valeurs UF, PDI et UE d'un fourrage, il est nécessaire d'analyser les teneurs en matières minérales et en matières azotées totales, un critère pariétal (cellulose brute ou fibres au détergent acide (ADF)) et, si possible, la digestibilité enzymatique (figure 2).

Les équations de prévision de la dMO par la méthode enzymatique de référence ont été mises à jour sur une base d'échantillons de fourrages plus importante (n = 384) et plus diversifiée (AUFRÈRE *et al.*, 2007). De nouvelles équations ont été proposées pour les fourrages verts issus d'associations ray-grass - trèfle blanc et pour les fourrages fermentés (ensilages directs, préfanés et mi-fanés). Sur un ensemble de 122 échantillons distincts de ceux utilisés pour établir les



(1) La méthode de prévision de la dMO à partir de la digestibilité cellulase (dCs) est utilisée en priorité
(2) Les critères généralement non mesurés (Extrait éthéré (EE), produits de fermentation (PF)) sont lus dans les Tables en fonction des caractéristiques du fourrage (adapté de BAUMONT *et al.*, 1999).

FIGURE 2 : **Organisation des calculs pour la prévision de la valeur alimentaire d'un fourrage.**

*FIGURE 2 : **Arrangement of the calculations for the forecast of the feeding value of a forage .***

équations de prévision, nous avons comparé la précision du modèle établi à partir de la digestibilité enzymatique à celui établi à partir de la composition chimique. Les écart types de prévision de la dMO à partir de la digestibilité pepsine-cellulase varient de 2,7 à 3,2 points de digestibilité selon la catégorie de fourrage considérée. Sur ces mêmes fourrages, ils sont inférieurs à ceux obtenus à partir de la composition chimique (MAT, CB) et qui varient entre 3,5 et 5,1 points de digestibilité. Les équations spécifiques proposées pour le maïs fourrage (Andrieu et Aufrère, 1996) et pour la luzerne déshydratée n'ont pas été modifiées.

Pour calculer les valeurs PDI des graminées et des légumineuses fourragères, il faut désormais estimer la dégradabilité théorique des matières azotées dans le rumen (DT) et la digestibilité intestinale des protéines alimentaires non dégradées (dr) (Nozières *et al.*, 2007). L'effet curvilinéaire de la teneur en MAT sur la DT traduit le fait que les MAT des fourrages sont d'autant plus dégradables que le fourrage est récolté à un stade précoce (Le Goffe *et al.*, 1993) ou fortement fertilisé (Peyraud et Astigarraga, 1998). La réduction de la dégradabilité des MAT avec le degré de fanage du fourrage (Aufrère *et al.*, 2000) est maintenant prise en compte à travers l'effet de la teneur en MS du fourrage conservé sur la DT, celle-ci diminuant de 0,25 point par point de MS supplémentaire. Pour le maïs plante entière, les DT et dr restent fixes, faute de données, mais cela a peu d'impact vu la faible teneur en MAT de ce fourrage.

Les valeurs d'encombrement (UE) des fourrages permettent de prévoir les quantités ingérées de fourrage et le taux de substitution entre les fourrages et les aliments concentrés. Leur estimation est donc indispensable au rationnement. En pratique, la prévision des valeurs d'encombrement utilise le lien entre la valeur énergétique d'un fourrage et sa valeur d'encombrement (figure 1c). Ainsi, un jeu d'équations de prévision de l'ingestibilité à partir de leur dMO et de leur teneur en MAT a été proposé dans le logiciel PrévAlim (Baumont *et al.*, 1999). Utiliser la dMO comme critère de prévision de la valeur d'encombrement permet aussi d'assurer la cohérence de sa prévision avec celle de la valeur énergétique. Ces équations prennent également en compte, à même valeur de dMO et de MAT, les effets sur l'ingestibilité de la famille botanique, de l'espèce végétale, du cycle de végétation ainsi que des différents modes de conservation. Des équations agrégées par famille botanique ont été proposées lors de la mise à jour des tables (Baumont *et al.*, 2007a). Elles peuvent être utilisées lorsque les calculs ne sont pas faits à l'aide du logiciel et lorsque la nature botanique du fourrage n'est pas connue avec précision, ce qui est souvent le cas. Pour le maïs, les données utilisées pour mettre à jour les valeurs UEL ont permis de calculer une équation de prévision associant la dMO et la teneur en MS cohérente avec les nouvelles valeurs des tables.

2. Rôle de la fertilisation sur la valeur alimentaire

Seuls sont ici abordés les effets de la fertilisation "classique" (NPK) destinée à augmenter la productivité fourragère.

Effets sur la valeur nutritive et l'ingestibilité

La fertilisation azotée augmente la vitesse de croissance de la végétation et ainsi la production de matière sèche pour un âge de repousse défini ou réduit le délai nécessaire pour atteindre un rendement défini (effet de maturité) (LEMAIRE *et al.*, 1982). La fertilisation azotée **modifie peu la dMO** des graminées malgré l'augmentation de la teneur en matières azotées qu'elle entraîne puisque celle-ci est compensée par une diminution de la teneur en glucides solubles et par une légère augmentation de la teneur en cellulose brute. A même âge de repousses, la dMO peut augmenter en moyenne de 2 points entre des niveaux bas (0 à 200) et des niveaux hauts (200 à 500 kg N/ha/an) de fertilisation azotée, sans que les sites de digestion de la MO soient modifiés (revue de PEYRAUD, 2000a). Toutefois, la fertilisation azotée accélère la diminution de digestibilité avec le vieillissement des tissus (DURU *et al.*, 2008). Elle aura donc surtout **un effet positif indirect** sur la digestibilité en permettant une **utilisation plus précoce** des graminées. En revanche, pour les associations graminées - trèfle blanc, elle peut entraîner une baisse de la digestibilité en réduisant le pourcentage de trèfle blanc, plus digestible que les graminées (PEYRAUD, 1993).

A même âge de repousse, **la fertilisation azotée n'a pas d'effet sur l'ingestibilité** du fourrage mesurée à l'auge (DEMARQUILLY, 1970). Comme pour la digestibilité, la fertilisation peut avoir un effet indirect positif sur l'ingestibilité en permettant une utilisation plus précoce des fourrages. Au pâturage, l'ingestion de couverts peu fertilisés peut être limitée si la préhensibilité de l'herbe est très réduite du fait d'une réduction importante de la biomasse de feuilles vertes par hectare (PEYRAUD et ASTIGARRAGA, 1998) et surtout si les teneurs en MAT sont trop faibles pour satisfaire la nutrition azotée de l'animal et des microbes du rumen. Une teneur minimale en MAT de 140 g/kg de MS peut être proposée pour que l'ingestion des vaches laitières au pâturage ne soit pas limitée (DELABY, 2000). Toutefois, dans le cas de fertilisations élevées et de fourrages exploités très jeunes, l'ingestibilité du fourrage peut être limitée en raison de sa faible teneur en matière sèche, et donc de sa richesse en eau (PEYRAUD, 2000a).

L'augmentation de la teneur en azote (azote soluble et azote nitrique) par la fertilisation **n'implique pas forcément une augmentation de la valeur azotée réelle** du fourrage dans la mesure où, dans les fourrages riches en azote non protéique, la formation d'ammoniac dans le rumen est supérieure à la capacité de protéosynthèse des micro-organismes du rumen, d'autant que celle-ci est limitée par la teneur en glucides solubles. En conséquence, les fourrages fertilisés riches en matières azotées sont toujours caractérisés par une mauvaise utilisation de l'azote dans le rumen qui est source de rejets azotés (PEYRAUD, 1993), et par une augmentation faible du flux d'azote alimentaire et microbien arrivant au niveau de l'intestin.

La **teneur en phosphore** du sol ou de la plante a peu d'influence sur l'ingestibilité et la digestibilité de la matière sèche ou organique (DEMARQUILLY, 1977 ; MINSON, 1990). Dans les prairies multispécifiques,

la fertilisation phosphatée, en favorisant le développement des légumineuses et donc leur proportion dans le couvert végétal, peut en améliorer la valeur azotée et la teneur en calcium.

La **fertilisation potassique** entraîne une diminution de la proportion d'azote soluble et une augmentation de l'azote protéique ainsi qu'une modification de la composition des glucides solubles. L'augmentation de la fertilisation potassique modifierait également la composition des acides organiques de la plante. Elle a toutefois peu d'influence sur l'ingestibilité et la valeur énergétique des fourrages récoltés à âge égal (DEMARQUILLY, 1977).

Effets sur les teneurs en minéraux majeurs

Lorsque les réserves du sol sont suffisantes, la **fertilisation azotée entraîne**, le plus souvent, **une augmentation des éléments minéraux majeurs** dans les végétaux. Toutefois, l'application de doses élevées d'azote sur des prairies de mélange peut se traduire par une diminution des teneurs de Mg et de Ca suite à la diminution de la proportion relative des légumineuses.

Les engrais phosphatés n'ont que peu d'effet sur la composition minérale des fourrages ; toutefois, une augmentation de la teneur en P est classiquement observée lorsque les sols sont carencés, ce qui est rarement le cas en France. L'apport de potasse entraîne une forte augmentation de la teneur en K, surtout pour les stades précoces de végétation. Ce résultat n'est pas toujours souhaitable d'autant qu'il s'accompagne d'une forte réduction des concentrations en Na et Mg.

3. Rôle des pratiques de récolte et de conservation

Le rôle fondamental du stade de végétation de l'herbe à la récolte

Des processus déterminant la digestibilité des plantes fourragères il découle que la valeur alimentaire d'un fourrage va dépendre en premier lieu de son stade de végétation au premier cycle, puis de l'âge des repousses au cours des cycles suivants. Ainsi retenons que la digestibilité des graminées fourragères classiques (ray-grass anglais, dactyle…) diminue après le stade début épiaison de 0,4 à 0,5 point par jour, ce qui correspond à une diminution de 0,008 à 0,01 UFL/kg de MS (DEMARQUILLY *et al.*, 1998). Il en sera de même pour des prairies permanentes riches en graminées de type ray-grass anglais (RGA) ou dactyle. Les évolutions de la valeur alimentaire avec le stade de récolte sont illustrées pour différents modes de conservation avec l'exemple du dactyle dans la figure 3. Ainsi, pour un ensilage préfané de RGA ou de dactyle, **un écart de 10 jours à la récolte entre le début et la pleine épiaison** fait diminuer la valeur du fourrage de 0,08 UFL, de 0,06 UEL et de 6 g/kg MS de PDIE. Cela **se traduira** dans la ration d'une vache laitière produisant 30 kg de lait par jour **par un supplément de 2,5 kg de concentré à apporter**

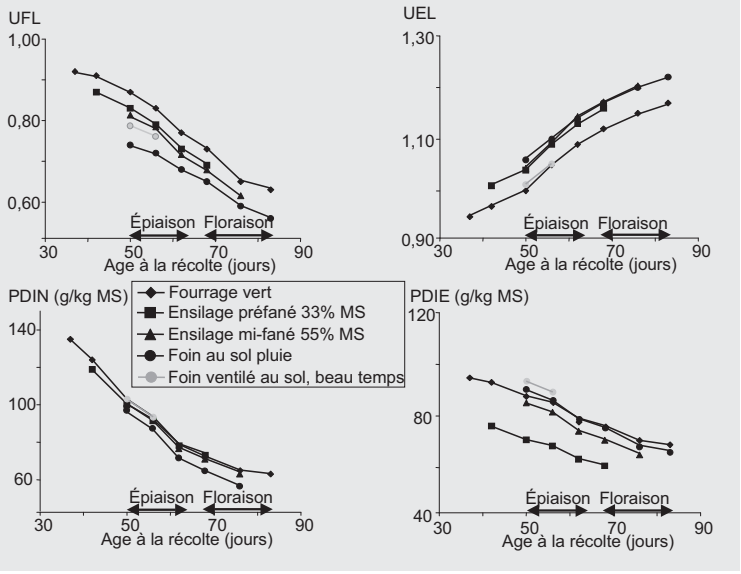


FIGURE 3 : **Evolution de la valeur alimentaire du dactyle au premier cycle de végétation avec l'âge du fourrage à la récolte et le mode de conservation** (données des *Tables INRA*, BAUMONT *et al.*, 2007b).

FIGURE 3 : ***Changes in the feeding value of a cocksfoot crop during the first growth cycle with the age of the grass at harvest and the method of conservation*** *(data from Tables INRA, BAUMONT et al., 2007b).*

quotidiennement, ou bien par une diminution de production de 4 à 5 kg de lait si la ration n'est pas corrigée. La diminution de la valeur alimentaire des grandes légumineuses (luzerne et trèfle violet) est plus régulière que celle des graminées, avec une diminution de 0,35 à 0,40 point de dMO tout au long du 1er cycle.

La dMO des repousses est toujours inférieure de 3 à 5 points environ à celle des mêmes fourrages au stade feuillu du 1er cycle. Elle diminue cependant moins vite avec l'âge qu'au 1er cycle, de 0,1 à 0,2 point de dMO par jour pour les repousses feuillues et de 0,2 à 0,3 point de dMO pour les repousses à tiges. Ainsi, les stades qui maximisent au premier cycle de végétation les quantités d'UFL et de MAT récoltées à l'hectare sont le début de l'épiaison pour les graminées et le stade boutons floraux pour les légumineuses (DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1988).

La **teneur en minéraux** des fourrages diminue également fortement au cours du 1er cycle de végétation. Ainsi, la teneur en phosphore total du RGA diminue de 40% environ entre le stade végétatif et la fin de la floraison ; cette évolution est un peu moins marquée pour le calcium et s'atténue au cours des cycles de végétation suivants. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'information sur d'éventuelles modifications du CAR en relation avec le stade de végétation.

Augmenter la **fréquence de coupe** d'un couvert végétal a pour conséquence de le maintenir à un âge plus jeune, avec une proportion de limbes ou de feuilles plus élevée, et par conséquent une valeur alimentaire plus élevée. Une bonne gestion du pâturage repose sur ce principe. Dans une étude menée sur 13 graminées représentatives des prairies permanentes, PONTES *et al.* (2007) ont comparé deux fréquences de coupe, une tous les 2 mois (3 coupes) et une par mois (6 coupes). Avec 6 coupes dans la saison, la valeur alimentaire de toutes les espèces a été augmentée, avec une

digestibilité enzymatique qui augmente en moyenne sur la saison de 7 points, ce qui laisse prévoir des augmentations de la dMO (d'environ 4,4 points) et de la teneur en MAT (46 g/kg de MS). Cette augmentation de la valeur alimentaire se fait logiquement au détriment de la production de biomasse annuelle qui diminue en moyenne de 9,2 t/ha à 7,8 t/ha, avec une diminution plus marquée pour le dactyle et la fétuque que pour le ray-grass anglais.

Les modifications entraînées par les techniques de conservation

Il existe deux grandes voies pour conserver les fourrages : **la voie sèche et la voie humide** (Demarquilly *et al.*, 1998). La voie sèche, pratiquée généralement par fanage, nécessite d'amener le fourrage à une teneur en MS égale ou supérieure à 85%, teneur à laquelle ses enzymes sont alors inactives et le développement de moisissures impossible. Au cours du **fanage**, le fourrage subit des pertes qui résultent de la respiration des cellules végétales, des pertes mécaniques de feuilles qui affectent principalement les légumineuses - jusqu'à 30% de pertes de feuilles pour un foin de luzerne (Peccatte et Dozias, 1998) - et éventuellement du lessivage par la pluie. Ces différentes pertes entraînent une diminution des constituants intracellulaires (principalement les sucres et les matières azotées) et une augmentation concomitante des parois cellulaires. Il en résulte une diminution de la digestibilité et par conséquent de la valeur alimentaire. Dans la conservation par **voie humide** sous forme d'**ensilage**, la stabilisation du fourrage est obtenue par la mise en anaérobie et une acidification suffisante du milieu pour empêcher la fermentation butyrique. La conservation par voie humide entraîne des pertes, sous forme de gaz de fermentation et sous forme de jus lorsque la teneur en matière sèche du fourrage est inférieure à 26-27%. La composition chimique classique est peu modifiée par l'ensilage. Seule la teneur en cellulose brute est augmentée. Les principales modifications portent sur les glucides solubles qui sont transformés en produits de la fermentation (acide lactique, AGV, alcools) et sur les constituants azotés, avec une augmentation importante de la teneur en azote soluble du fait de la dégradation des protéines chloroplastiques. La dMO et la valeur énergétique du fourrage sont peu modifiées par le processus de fermentation de l'ensilage.

La diminution de la valeur énergétique de l'herbe conservée dépend principalement de son degré de fanage et des pertes subies par le fourrage (figure 3). Ainsi, par rapport au fourrage vert, la valeur énergétique diminue environ de 5% pour un ensilage préfané, de 7-8% pour un fourrage mi-fané et enrubanné, de 10% pour un foin fané dans de bonnes conditions et jusqu'à 15% pour un foin ayant reçu de la pluie. L'amplitude de variation de **la valeur d'encombrement avec le fanage est moindre**, la valeur UEL des ensilages mi-fanés étant supérieure de 5-6% à celle des fourrages verts correspondants, et celle des foins pouvant être très proche de celle du fourrage vert lorsqu'ils sont réalisés dans de bonnes conditions (séchage en grange ou fanage sans pluie). **La valeur azotée des fourrages** diminue avec le fanage, jusqu'à 10% pour la valeur PDIN pour les foins ayant reçu de la pluie,

mais elle **est surtout affectée par la conservation par voie humide**. En effet, dans les ensilages, non seulement la dégradabilité de l'azote augmente de 3 à 10 points par suite de l'augmentation de la proportion d'azote soluble, d'où une diminution de la valeur PDIA, mais la protéosynthèse microbienne diminue également car les produits de fermentation contenus dans ces fourrages apportent peu ou pas d'énergie aux microbes. En conséquence, la valeur PDIE des fourrages fermentés est fortement réduite par rapport à celle du fourrage vert, de 20% environ pour les ensilages directs réalisés avec conservateur efficace ou pour les ensilages préfanés. La présence de produits de fermentation et de dégradation des protéines dans les ensilages est également responsable de la diminution de leur ingestibilité et donc de l'augmentation de leur valeur d'encombrement et ce d'autant plus que ces produits sont présents en grande quantité (VAN OS *et al.*, 1995).

L'effet du mode de conservation des fourrages sur leur **composition en éléments minéraux majeurs** a fait l'objet d'une étude récente et des équations de passage ont été proposées par élément et par mode de conservation (MESCHY *et al.*, 2005). **Le fanage réduit la teneur du fourrage en minéraux solubles**. A l'exception de celle du sodium qui ne varie pas significativement, les teneurs sont inférieures en moyenne de 15 à 20% dans les foins par rapport au fourrage vert correspondant ; cette diminution est plus marquée pour le calcium que pour le phosphore. Pour les ensilages, le mode de fermentation (ensilage avec ou sans conservateur ou enrubannage) est sans effet significatif sur l'évolution de la composition minérale. La fermentation des fourrages entraîne une diminution de l'ordre de 15% pour le phosphore ; la teneur en calcium des graminées est peu affectée mais celle des légumineuses diminue de 15 à 20% lors du processus d'ensilage.

La réalisation d'ensilages en coupe directe à des teneurs en matière sèche de l'ordre de 20% sans ressuyage ou préfanage nécessite l'utilisation d'un conservateur efficace pour limiter la diminution de leur valeur azotée et de leur ingestibilité. Aujourd'hui cette technique est en régression, également en raison des problèmes posés par les jus d'ensilage. On dispose d'une gamme de techniques de conservation combinant la conservation par voie sèche et par voie humide avec les ensilages préfanés et mi-fanés. En particulier, la technique des **balles rondes enrubannées** est plus souple à mettre en œuvre qu'un chantier d'ensilage direct et permet de sécuriser la récolte lorsque le climat ne permet pas de bonnes conditions de séchage pour le foin. L'interdiction des fourrages fermentés dans certains cahiers des charges en production fromagère entraîne un nouveau développement de la technique du séchage en grange des foins. La réalisation de **foin séché par ventilation en vrac ou en bottes** permet de récolter un fourrage respectivement à 60 ou 70% de MS à l'entrée au séchoir, ce qui permet de réduire la durée de fanage à 48 ou 60 h et le nombre de passages. Les essais réalisés à l'INRA de Marcenat (GAREL et PRADEL, non publié) et à l'INRA du Pin (DELABY et PECATTE, 2008) confirment que l'on peut obtenir par ces techniques des foins dont la valeur énergétique est comprise entre 0,7 et 0,8 UFL selon la date de récolte. Par rapport au fourrage vert, la diminution de la valeur énergétique est

limitée à 0,06 UFL en moyenne, les valeurs PDI sont légèrement supérieures et les valeurs UEL comparables. Ces données confirment celles prévues par les *Tables INRA* pour les foins ventilés et qui sont très voisines de celles des foins séchés au sol par beau temps. La technique du séchage en grange permet donc de réaliser des fourrages précoces de bonne valeur en s'affranchissant en partie des conditions climatiques lorsque la voie humide n'est pas possible.

Quels fourrages pour maximiser ingestion, valeurs énergétique et azotée ?

En croisant deux critères synthétiques, la densité énergétique (UFL/UEL), qui traduit l'énergie que l'animal va retirer par unité d'encombrement, et la concentration en protéines digestibles que cette énergie apporte (PDI/UFL), il est possible de caractériser **l'intérêt nutritionnel des fourrages par grand type** (figure 4). Les graminées et les légumineuses exploitées en vert à des stades jeunes permettent d'atteindre simultanément une densité énergétique et des apports de PDI élevés. L'ensilage de maïs est le fourrage conservé qui permet la densité énergétique la plus élevée, mais en revanche sa contribution aux apports azotés est faible. L'herbe conservée, si on tient compte des stades de récolte généralement réalisés, présente une densité énergétique d'autant plus faible que le degré de fanage augmente. En revanche, son rapport protéines sur énergie apportée sera d'autant plus intéressant que le fanage est poussé.

Quelles conséquences peut-on en tirer pour **l'autonomie alimentaire et les impacts environnementaux** des systèmes d'élevage ? L'herbe pâturée, lorsqu'elle est bien maîtrisée, permet d'atteindre des niveaux de production élevés même sans complémentation. Augmenter la part de l'herbe pâturée sera donc favorable à l'autonomie alimentaire. Son principal inconvénient réside dans ses valeurs excédentaires en PDIN qui favorisent des rejets azotés importants. Pour limiter le recours aux aliments extérieurs à la ferme, la faible valeur azotée du maïs peut être corrigée par des apports de légumineuses (luzerne récoltée mi-fanée ou en foin par exemple). L'herbe conservée, lorsqu'elle est récoltée à

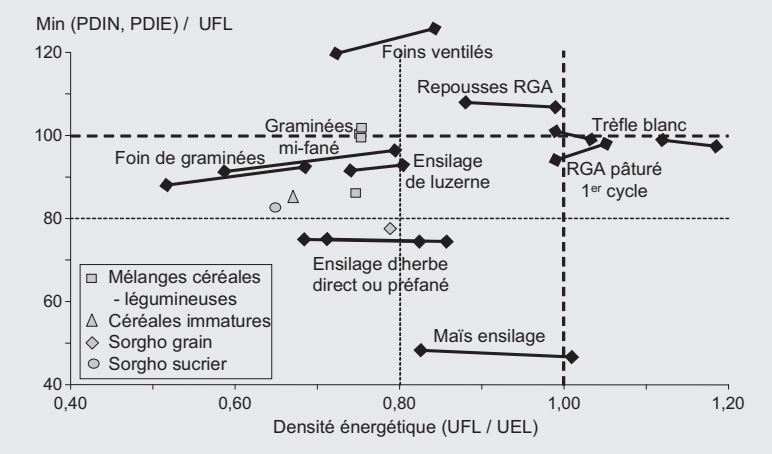


FIGURE 4 : **Relations entre la densité énergétique des fourrages et leur concentration en protéines digestibles par unité fourragère.** Pour chaque catégorie de fourrages, le trait indique la plage de variation donnée dans les *Tables INRA*.

*FIGURE 4 : **Relationships between the energy density of the forages and their digestible protein content per Feed Unit.** For each category of forages, the range of variation in the INRA Tables is indicated.*

des stades précoces, permet d'assurer des niveaux de production intéressants, même avec des niveaux de concentrés faibles. Ainsi, avec une ration composée de 70% d'ensilage d'herbe réalisé au début de l'épiaison et 30% de foin séché en grange à l'épiaison, des vaches Holstein produisent 30 kg de lait en début de lactation sans concentré et 33 kg avec 5 kg de concentrés (Pomiès *et al.*, 2008). En revanche, les fauches précoces des prairies sont défavorables à leur biodiversité. Les compromis entre le niveau de production recherché et les services environnementaux fournis par les prairies doivent être recherchés à l'échelle du système d'élevage par la complémentarité entre les types de parcelles et les niveaux de besoin des différentes catégories d'animaux (Jouven et Baumont, 2008).

4. Besoins et perspectives de recherche

Des fourrages mal connus

Comparativement aux graminées et légumineuses fourragères classiques et au maïs, on dispose de nettement **moins de références sur la valeur alimentaire des prairies de mélange**, qu'elles soient semées ou permanentes. La valeur alimentaire d'une prairie diversifiée va dépendre en premier lieu de la composition du mélange d'espèces et de la valeur de ces espèces (Baumont *et al.*, 2008). Pour les **associations semées**, qui utilisent généralement des graminées de bonne valeur alimentaire, la part de légumineuses, en faisant varier les teneurs en parois végétales et en matières azotées, va être souvent déterminante pour l'ingestibilité et la valeur azotée du fourrage. La digestibilité dépendra dans une moindre mesure de la composition du mélange. Pour les **prairies permanentes**, les conditions de milieu et le mode de conduite de la prairie déterminent la composition botanique, et dans une large mesure la valeur alimentaire. Celle-ci dépend d'une part du type de graminées - les espèces n'ont pas la même valeur selon qu'elles présentent une stratégie de capture ou de conservation des ressources - et d'autre part de la proportion et du type de dicotylédones (Rodrigues *et al.*, 2007). Des travaux en cours s'appuyant sur des réseaux de parcelles dans différentes régions de France permettront de préciser ces relations et d'améliorer la prévision de la valeur alimentaire des différents types de prairies permanentes.

La recherche d'**alternatives au maïs** pour limiter le recours aux intrants et à l'irrigation entraîne un certain développement de l'utilisation de céréales immatures et de mélanges de céréales et de légumineuses ainsi que de sorgho grain et de sorgho sucrier récoltés en ensilage. Les valeurs énergétiques mesurées par Emile *et al.* (2007) pour des **ensilages de céréales (orge, blé ou triticale)** récoltés au stade laiteux-pâteux à des teneurs en comprises entre 30 et 35% de MS varient entre 0,61 et 0,73 UFL. Ces valeurs sont cohérentes avec celles proposées par les *Tables INRA*. Les teneurs en MAT de ces fourrages sont faibles, comprises entre 70 et 80 g/kg MS, ce qui correspond à des valeurs PDIN et PDIE n'excédant pas 60 g/kg de MS. L'intérêt nutritionnel des céréales immatures est donc plutôt

limité, inférieur à celui des ensilages d'herbe (figure 4). En revanche, les **mélanges céréales - légumineuses** devraient avoir une meilleure valeur azotée, voire énergétique. Dans un essai réalisé dans les Pays-de-la-Loire, la valeur de mélanges contenant deux céréales (triticale et avoine) et deux légumineuses (pois et vesce) a été estimée à partir d'analyses réalisées sur les différentes espèces séparées à la récolte (Rossin, 2008). Les valeurs estimées s'avèrent être très peu sensibles à la présence d'un apport d'azote ou à un écart de 8 à 11 jours dans la date de récolte. En moyenne, la valeur UFL estimée est de 0,78, ce qui est supérieur à celle des céréales immatures. La valeur UEL de ces mélanges est estimée à 1,03. Les valeurs PDI sont voisines de 80 g/kg MS pour les mélanges contenant de 45 à 50% de légumineuses et légèrement plus faibles (PDIN = 67 et PDIE = 75) pour le mélange ne contenant que 28% de légumineuses. Ces mélanges constituent donc des compléments de stocks fourragers intéressants (figure 4). Un essai conduit sur vaches laitières confirme l'intérêt des mélanges céréales - légumineuses avec une ingestion augmentée de 1,9 kg de MS et une production laitière augmentée de 1,8 kg avec un mélange triticale - pois - avoine - vesce par rapport aux performances obtenues avec un ensilage de triticale seul (Emile *et al.*, 2008). Toutefois, incorporés dans une ration de vaches laitières en remplacement de 50% de l'ensilage de maïs, l'ingestion et la production ont diminué de respectivement 7 et 6%, vraisemblablement en raison d'une coupe assez grossière du mélange céréales - légumineuses (Brunschwig et Lamy, 2008).

Les **ensilages de sorgho grain et de sorgho sucrier** sont des fourrages encore particulièrement mal connus. Les quelques mesures de digestibilité réalisées sur moutons (Barrière *et al.*, 2003) permettent d'estimer la valeur énergétique des sorghos grain entre 0,75 et 0,82 UFL selon les hybrides et celles des sorghos sucriers entre 0,62 et 0,72 UFL (Emile *et al.*, non publié). Les teneurs en MAT sont comprises entre 90 et 100 g/kg MS, ce qui conduit à des estimations des valeurs PDI comprises entre 55 et 60 g/kg MS pour les PDIN et entre 60 et 70 g/kg MS pour les PDIE. Les essais menés sur vaches laitières montrent que l'ingestibilité des sorghos grain est élevée et proche de celle du maïs (Emile *et al.*, 2006 ; Brunschwig et Lamy, 2008). Celle du sorgho sucrier est plus faible, en accord avec sa valeur énergétique plus faible. Avec le sorgho grain, les performances laitières sont voisines ou légèrement inférieures à celles obtenues avec le maïs ; avec le sorgho sucrier, elles sont nettement inférieures. Le sorgho sucrier à gène "bmr", moins riche en lignine, permet une performance proche de celle obtenue avec le maïs (Brunschwig et Lamy, 2008).

Des travaux complémentaires sont nécessaires pour proposer des équations de prévision de la valeur alimentaire des mélanges de céréales immatures et de légumineuses, et des différents types de sorghos. Actuellement, les mesures sur animaux font défaut pour bien cerner les conséquences de la variabilité liée d'une part au matériel végétal et d'autre part aux conditions de culture et de récolte sur la valeur alimentaire de ces fourrages.

De nouveaux critères pour une évaluation multi-objectifs de la valeur des fourrages

Les questions relatives à l'impact de l'alimentation sur la santé animale, sur la qualité des produits animaux, sur les rejets émis dans l'environnement doivent être prises en compte dans l'évaluation des fourrages.

Mieux connaître la cinétique de dégradation des aliments dans le rumen est nécessaire pour aller vers une meilleure prévision des **flux d'ingestion et de digestion** chez le ruminant. En effet cette cinétique conditionne, d'une part, le temps de séjour des aliments dans le rumen et donc leur ingestibilité et, d'autre part, l'orientation des fermentations et donc les risques d'acidose ruminale, l'équilibre des nutriments absorbés, voire les rejets de méthane par l'animal. Ainsi, PEYRAUD (2000b) a montré que la quantité de matière sèche dégradée dans le rumen au bout de 4 heures de présence était étroitement liée au temps pendant lequel le pH ruminal est inférieur à une valeur de 6 qui est un critère caractérisant le risque d'acidose. Les paramètres de la cinétique de dégradation ont déjà été caractérisés pour les principaux aliments concentrés utilisés dans l'alimentation des ruminants (INRA-AFZ, 2002). La compilation des nombreuses données de cinétiques de dégradation dans le rumen des fourrages devrait permettre de caractériser les paramètres de leur dégradation par grande classe de fourrages et de proposer une prévision de ces paramètres à partir de l'analyse de la composition chimique. Par ailleurs, l'étude des **effets associatifs** sur la digestion et l'ingestion entre constituants des plantes fourragères, en particulier les métabolites secondaires, constitue une piste pour rechercher des associations fourragères permettant une meilleure valorisation par les animaux et réduction des rejets (NIDERKORN et BAUMONT, 2009).

La connaissance des facteurs de variation de la **composition des fourrages en acides gras et en composés antioxydants de différentes classes** est nécessaire pour mieux comprendre et prévoir le rôle de l'alimentation sur les propriétés nutritionnelles des produits animaux. En effet, il est bien établi que la composition des fourrages en acides gras et en micro-nutriments influence celle des produits animaux (MARTIN et HURTAUD, 2009). La compilation des données de composition en acides gras des fourrages (GLASSER et DOREAU cités par FARRUGGIA *et al.*, 2008) devrait permettre d'évaluer la teneur en acides gras totaux et le profil en différents acides gras selon la famille botanique, le stade végétation et le mode de conservation (DOREAU *et al.*, 2005). L'étude des variations de la composition des fourrages en composés antioxydants, caroténoïdes et polyphénols principalement, montre des variations importantes de ces composés selon le type de prairie et selon sa conduite qui se traduisent par des variations dans la composition du lait (GRAULET *et al.*, 2008).

Conclusion

Les tables de la valeur des fourrages de l'INRA sont construites de façon matricielle en croisant, pour les principales plantes fourragères, les effets de l'âge du fourrage à son exploitation ou à sa récolte, qui est le principal facteur de variation de sa valeur, et les effets des différents modes de conservation, qui dépendent en premier lieu du degré de fanage du fourrage. Reposant sur une large base de données et d'échantillons issus d'essais *in vivo* accumulés depuis les années 1960, elles proposent des valeurs de composition chimique, de valeur nutritive, d'ingestibilité et de valeur minérale pour une grande diversité de fourrages. Leur récente réactualisation a permis de compléter la caractérisation des parois végétales et de la composition minérale des fourrages, d'améliorer l'estimation des valeurs azotées dans le système PDI, d'introduire les fourrages mi-fanés et de préciser les valeurs du maïs fourrage. Les tables et les méthodes de prévision de la valeur des fourrages constituent un outil indispensable au rationnement des animaux. Elles sont également riches d'enseignements pour raisonner les systèmes fourragers.

L'acquisition de références complémentaires sur les mélanges fourragers et les prairies à flore complexe est nécessaire pour mieux prévoir leur valeur. Pour l'avenir, ces tables devraient s'enrichir de critères permettant une meilleure prévision des flux d'ingestion et de digestion chez l'animal, et de critères caractérisant l'intérêt des fourrages pour la qualité des produits animaux.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Des fourrages de qualité pour des élevages à hautes performances économiques et environnementales",
les 25-26 mars 2009.

Remerciements : Les auteurs remercient Jean-Paul Garel et Philippe Pradel (INRA Marcenat) pour leur avoir communiqué des données sur les foins séchés en grange, Jean-Claude Emile et Fabien Surault (INRA Lusignan) pour les données sur le sorgho, et Philippe Brunschwig (Institut de l'Elevage) et Gérard Losq (Pôle Herbivores de Bretagne) pour les données sur les mélanges immatures de céréales et de légumineuses.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Andrieu J., Aufrère J. (1996) : "Prévision à partir de différentes méthodes (physique, chimique et biologique) de la digestibilité et de la valeur énergétique de la plante de maïs à l'état frais", *Colloque Maïs Ensilage*, Nantes 17-18 Septembre 1996, AGPM éd., 61-69.

Andrieu J. Demarquilly C., Dardenne P., Barrière Y., Lila M., Maupetit P., Rivière F., Femenias N. (1993) : "Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. I. Factors of variation", *Annales de Zootech.*, 42, 221-249.

Andueza D., Jestin M., Picard F., Andrieu J., Baumont R. (2005) : "Estimation de la teneur en parois végétales totales (NDF) des fourrages à partir de la spectrométrie dans le proche infra-rouge", *Rencontres Recherches Ruminants*, 12, 110.

Aufrère J., Demarquilly C. (1989) : "Predicting organic matter digestibility of forage by two pepsin -cellulase methods", *XVI*th *Int. Grassl. Congr.*, Nice, France, vol.2, 877-878.

AUFRÈRE J., GRAVIOU D., BAUMONT R., DETOUR A., DEMARQUILLY C. (2000) : "Degradation in the rumen of proteins from fresh lucerne forage in various stages of growth and conserved as silage or hay", *Annales Zootech*., 49, 461-474.

AUFRÈRE J., BAUMONT R., DELABY L., PECATTE J.-R., ANDRIEU J., ANDRIEU J.-P., DULPHY J.-P. (2007) : "Prévision de la digestibilité des fourrages par la méthode pepsine-cellulase. Le point sur les équations proposées", *Productions Animales*, 20, 129-136.

BARRIÈRE Y., GUILLET C. GOFFNER D., PICHON M. (2003) : "Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review", *Animal Research*, 52, 193-228.

BARRIÈRE Y., EMILE J.-C., TRAINEAU R., SURAULT F., BRIAND M., GALLAIS A. (2004) : "Genetic variation for organic matte rand cell wall digestibility in maize silage. Lessons from a 34-year experiment with sheep in digestibility crates", *Maydica*, 49, 115-126.

BAUMONT R., CHAMPCIAUX P., AGABRIEL J., ANDRIEU J., AUFRÈRE J., MICHALET-DOREAU B., DEMARQUILLY C. (1999) : "Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants : PrévAlim pour INRAtion", *Productions Animales*, 12, 183-194.

BAUMONT R., PRACHE S., MEURET M., MORAND-FEHR P. (2000) : "How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review", *Livestock Prod. Sci.*, 64,15-28.

BAUMONT R., DULPHY J.P., DOREAU M., PEYRAUD J.L., NOZIÈRES M.O., ANDUEZA D. MESCHY F. (2005) : "La valeur des fourrages pour les ruminants : comment synthétiser et diffuser les nouvelles connaissances, comment répondre aux nouvelles questions ?", *Rencontres Recherches Ruminants*, 12, 85-92.

BAUMONT R., DULPHY J.P., SAUVANT D., MESCHY F., AUFRÈRE J., PEYRAUD J.L. (2007a) : "Chapitre 8. Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières : tables et prévision", *Alimentation des bovins, ovins et caprins, Tables INRA 2007*, éd. Quae, pp. 149-179.

BAUMONT R., DULPHY J.P., SAUVANT D., TRAN G., MESCHY F., AUFRÈRE J., PEYRAUD J.L., CHAMPCIAUX P. (2007b) : "Chapitre 9. Les tables de la valeur des aliments", *Alimentation des bovins, ovins et caprins, Tables INRA 2007*, éd. Quae, pp. 181-275.

BAUMONT R., AUFRÈRE J., NIDERKORN V., ANDUEZA D., SURAULT F., PECCATTE J.R., DELABY L., PELLETIER P. (2008) : "La diversité spécifique dans le fourrage : conséquence sur la valeur alimentaire", *Fourrages,* 194, 189-206.

BRUNSCHWIG P., LAMY J.M. (2008) : "Mélanges céréales - légumineuses immatures et sorghos ensilés, des alternatives fourragères pour les vaches laitières en situation séchante", *Rencontres Recherches Ruminants*, 15, 205-208.

CABRERA ESTRADA I., DELAGARDE R., FAVERDIN P., PEYRAUD J.L. (2004) : "Dry matter intake and eating rate of grass by dairy cows is restricted by internal, but not external water", *Animal Feed Sci. and Technology*, 114, 59-74.

DELABY L. (2000) : "Effet de la fertilisation minérale azotée des prairies sur la valeur alimentaire de l'herbe et les performances des vaches laitières au pâturage", *Fourrages,* 164, 421-436.

DELABY L., PECCATTE J.-R. (2008) : "Valeur alimentaire de foins ventilés issus de prairies multispécifiques", *Fourrages,* 195, 354-356.

DEMARQUILLY C. (1970) : "Influence de la fertilisation azotée sur la valeur des fourrages verts", *Annales de Zootechnie,* 19, 423-437.

DEMARQUILLY C. (1977) : "Fertilisation et qualité du fourrage", *Fourrages,* 69, 61-81.

DEMARQUILLY C., ANDRIEU J. (1988) : "Les fourrages", *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, R. Jarrige éd., INRA Editions, pp. 315-335.

DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., ANDRIEU J.P. (1998) : "Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage", *Fourrages,* 155, 349-369.

DOREAU M., LEE M.R.F., UEDA K., SCOLLAN N.D. (2005) : "Métabolisme ruminal et digestibilité des acides gras des fourrages", *Rencontres Recherches Ruminants*, 12, 101-104.

DURU M., CRUZ P., THEAU J.P. (2008) : "Un modèle générique de digestibilité des graminées des prairies semées et permanentes pour raisonner les pratiques agricoles", *Fourrages,* 193, 79-102.

EMILE J. C., AL RIFAÏ M, CHARRIER X., LE ROY P., BARRIERE Y. (2006) : "Grain sorghum silage as an alternative to irrigated maize silage", *Grassland in Europe,* 11, 80-82.

EMILE J. C., JOBIM C. C., SURAULT F., BARRIÈRRE Y. (2007) : "Genetic variations in the digestibility in sheep of selected whole-crop cereals used as silages", *Animal*, 1, 1122-1125.

EMILE J.C., JACOBS DIAS F., AL RIFAÏ M, LE ROY P., FAVERDIN P. (2008) : "Triticale and mixtures silages for feeding dairy cows", *Grassland in Europe,* 13, 804-806.

FARRUGGIA A., MARTIN B., BAUMONT R., PRACHE S., DOREAU M., HOSTE H., DURAND D. (2008) : "Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ?", *Productions Animales,* 21, 181-200.

GRAULET B., CHAUVEAU DURIOT B., MARTIN B., PRADEL P., GAREL J.P., FARRUGIA A. (2008) : "Comparaison des teneurs en micronutriments liposolubles du lait de vaches au cours de la période de pâturage sur deux sytèmes prairiaux contrastés", *Rencontres Recherches Ruminants*, 15, 120.

INRA (1981) : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, C. Demarquilly éd., INRA, Paris, 580 p.

INRA (2007) : *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments*, éd. Quae, Versailles, 310 p.

INRA-AFZ (2002) : *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*, Sauvant D., Perez J.M., Tran G. éds., INRA Editions, 301 p.

JOUVEN M., BAUMONT R. (2008) : "Simulating grassland utilization in beef suckler systems to investigate the trade-offs between production and floristic diversity", *Agricultural Systems,* 96, 260-272.

LE GOFFE P., VÉRITÉ R., PEYRAUD J.L. (1993) : "Influence de l'espèce et de la saison sur la dégradabilité de l'azote des fourrages verts dans le rumen", *Annales de Zootechnie,* 42, 3-16.

LEMAIRE G., SALETTE J., LAISSUS R. (1982) : "Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps. II - la dynamique d'absorption de l'azote et son efficience", *Fourrages,* 92, 51-65.

MARTIN B., HURTAUD C., GRAULET B., FERLAY A., CHILLIARD Y., COULON J.-B. (2009) : "Herbe et qualités nutritionnelles et sensorielles des produits laitiers", *Actes des Journées AFPF, Des fourrages de qualité pour des élevages à hautes performances économiques et environnementales*, 123-136.

MESCHY F. (2007) : "Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : actualisation des connaissances", *Productions Animales,* 20, 119-128.

MESCHY F., CORRIAS R. (2005) : "Recommandations d'apport en calcium et magnésium absorbables pour les ruminants", *Rencontres Recherches Ruminants*, 12, 221-224.

MESCHY F., BAUMONT R., DULPHY J.-P., NOZIÈRES M.O. (2005) : "Effet du mode de conservation sur la composition en éléments minéraux des fourrages", *Rencontres Recherches Ruminants*, 12,116.

MICHALET-DOREAU B., CORNELOUP F., AIZAC B., ANDRIEU J., BAUMONT R. (2004) : "Variabilité et facteurs de variation de la teneur en matières azotées des maïs récoltés en plantes entières", *Productions Animales,* 17, 3-10.

MINSON D. J. (1990) : *Forage in ruminant nutrition*, Academic Press, New York, NY.

NIDERKORN V., BAUMONT R. (2009) : "Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants", *Animal*, disponible en ligne (doi:10.1017/S1751731109004261).

NOZIÈRES M.-O., DULPHY J.P., PEYRAUD J.L., PONCET C., BAUMONT R. (2007) : "La valeur azotée des fourrages. Nouvelles estimations de la dégradabilité des protéines dans le rumen et de la digestibilité réelle des protéines alimentaires dans l'intestin grêle : conséquences sur les valeurs PDI", *Productions Animales,* 20, 109-118.

PECCATTE J.R., DOZIAS D. (1998) : "Conservation et valeur alimentaire de la luzerne pour les ruminants", *Fourrages,* 155, 403-407.

PEYRAUD J. L. (1993) : "Comparaison de la digestion du trèfle blanc et des graminées prairiales chez la vache laitière", *Fourrages,* 135, 465-473.

PEYRAUD J. L. (2000a) : "Fertilisation azotée des prairies et nutrition des vaches laitières. Conséquences sur les rejets d'azote", *Productions Animales,* 13, 61-72.

PEYRAUD J. L. (2000b) : "La dynamique de dégradation de l'énergie est un élément déterminant de la fibrosité des régimes", *Rencontres Recherches Ruminants*, 7, 183-186.

PEYRAUD J. L., ASTIGARRAGA L. (1998) : "Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance", *Animal Feed Science and Technology*, 72, 235-239.

POMIES D., BAUMONT R., EGAL D. , REMOND B. (2008) : "L'utilisation d'ensilage d'herbe et de foin de haute qualité chez des vaches en monotraite permet de supprimer le concentré avec une perte de lait limitée", *Rencontres Recherches Ruminants*, 15, 179.

PONTES, L., CARRERE, P., ANDUEZA, D LOUAULT, F., SOUSSANA, J.F. (2007) : "Seasonal productivity and nutritive value of temperate grasses found in semi-natural pastures in Europe. Responses to cutting frequency and N supply", *Grass and Forage Sci*., 62, 485-496.

RODRIGUES A., ANDUEZA D., PICARD F., CECATO U., FARRUGGIA A., BAUMONT R. (2007) : "Valeur alimentaire et composition floristique des prairies permanentes : premiers résultats d'une étude conduite dans le Massif Central", *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, 241-244.

ROSSIN P.-Y. (2008) : *Les alternatives fourragères au maïs ensilage pour l'alimentation des vaches laitières en conditions séchantes*, mémoire d'ingénieur Lasalle Beauvais, 60 p + annexes.

VAN OS M., DULPHY J.P., BAUMONT R. (1995) : "The influence of ammonia and amines on grass silage intake and chewing behaviour in dairy cows", *Annales de Zootechnie,* 44, 73-85.

SUMMARY

Feeding value of the forages : effects of cultivation, harvesting and conservation practices

By combining cultivation, harvesting and conservation practices, the farmers are able to find the best compromise between the amount of herbage harvested and its feeding value. Present environmental requirements however do question a certain number of the practices that had made possible the intensification of the forage production.

This paper is the synthesis of the present knowledge acquired by INRA on the feeding value of the forages and of its variation with the cultivation, harvesting and conservation practices. The recently completed INRA Tables supply values for the chemical composition, nutritive value, intake and mineral contents of a great diversity of forages and situations. These reference values make it possible to estimate the value of a forage and this can be made more accurate by the use of forecast tools when a chemical analysis is available. These data are essential for determining the diets of the animals and for analysing the forage systems. In the future, these tables should be complemented by data on the forecast of intake and digestion flows, and by other values characterizing the interest of the forages for the production of high-quality animal products.