



La valeur des fourrages pour les ruminants : comment synthétiser et diffuser les nouvelles connaissances, comment répondre aux nouvelles questions ?

René Baumont, J Pierre Dulphy, Michel M. Doreau, Jean-Louis J.-L. Peyraud, Marie-Odile M.-O. Nozieres, Donato Andueza, Francois F. Meschy

► To cite this version:

René Baumont, J Pierre Dulphy, Michel M. Doreau, Jean-Louis J.-L. Peyraud, Marie-Odile M.-O. Nozieres, et al.. La valeur des fourrages pour les ruminants : comment synthétiser et diffuser les nouvelles connaissances, comment répondre aux nouvelles questions?. 12. Rencontres Recherches Ruminants, Dec 2005, Paris, France. hal-02761862

HAL Id: hal-02761862

<https://hal.inrae.fr/hal-02761862>

Submitted on 25 Jan 2023

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.

La valeur des fourrages pour les ruminants : comment synthétiser et diffuser les nouvelles connaissances, comment répondre aux nouvelles questions ?

R. BAUMONT (1), J.P. DULPHY (1), M. DOREAU (1), J.L. PEYRAUD (2), M.O. NOZIERES (1), D. ANDUEZA (1), F. MESCHY (3)

(1) Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA Clermont-Fd/Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

(2) Unité Mixte de Recherches sur la Production du Lait, INRA-Agrocampus de Rennes, 35590 Saint-Gilles

(3) UMR Physiologie de la Nutrition et Alimentation, INRA INA-PG, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05

RESUME - Les tables de la composition chimique et de la valeur alimentaire constituent le principal support de synthèse et de diffusion de la connaissance sur la valeur des fourrages pour les ruminants. Les tables utilisées en France, reposant sur une large base de données d'essais *in vivo*, proposent des valeurs de composition chimique, de valeur nutritive et d'ingestibilité pour une grande diversité de fourrages. Néanmoins, il est nécessaire de les faire évoluer pour intégrer de nouvelles connaissances, prendre en compte de nouvelles pratiques d'utilisation des fourrages et répondre à de nouvelles questions. Une réactualisation de ces tables est en cours dans le but de compléter la caractérisation des parois végétales et de la composition minérale des fourrages, de préciser les valeurs azotées dans le système PDI et d'introduire les fourrages mi-fanés. Pour l'avenir, ces tables pourront servir de support pour évaluer non seulement la valeur alimentaire des fourrages, mais aussi des aspects relatifs à l'impact des fourrages sur la santé de l'animal, sur la qualité des produits et sur l'environnement. L'utilisation d'une typologie pour caractériser la valeur des prairies permanentes, l'introduction des paramètres de la cinétique de dégradation des fourrages dans le rumen et de leur composition en acides gras d'intérêt nutritionnel pour l'homme sont à l'étude.

The value of forages for ruminants: how synthesise and distribute new knowledge, how to answer new questions?

R. BAUMONT (1), J.P. DULPHY (1), M. DOREAU (1), J.L. PEYRAUD (2), M.O. NOZIERES (1), D. ANDUEZA (1), F. MESCHY (3)

(1) Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA Clermont-Fd/Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

SUMMARY - The tables of chemical composition and nutritive value are the main medium to synthesise and spread knowledge on forage value for ruminants. The tables utilised in France are based on a large database of *in vivo* measurements, and provide chemical composition, nutritive value and voluntary intake data for a wide diversity of forages. Nevertheless, it is necessary to update the tables in order to integrate new knowledge, to take into account new ways of forage utilisation and to answer new questions. A current update will concern the cell wall and mineral contents of forages, the protein value expressed in the PDI system and the value of herbage harvested as big bale silage. For the future, forage value tables should be the medium to assess not only nutritive value, but also aspects related to the role of forages on animal health, on animal product quality and on the environment. Characterising the feed value of natural grasslands from a typology, introducing in the table the forage degradation kinetics parameters and the composition in fatty acids of interest for human nutrition were investigated.

INTRODUCTION

Raisonnement l'alimentation des ruminants suppose une bonne connaissance de la composition chimique et de la valeur alimentaire des fourrages pâturés ou conservés utilisés dans les rations. Les tables de la composition chimique et de la valeur alimentaire constituent le principal support de synthèse et de diffusion de cette connaissance. Elles fournissent des données de référence qui permettent d'estimer en première approche la valeur d'un fourrage, estimation qui peut être affinée par l'utilisation d'outils de prévision lorsqu'une analyse chimique est faite.

Depuis la dernière parution des Tables (Andrieu *et al.*, 1988), 1- de nouvelles connaissances ont été acquises ; 2- un certain nombre de lacunes ont été identifiées, comme l'absence de la teneur en parois végétales totales ; 3- les pratiques d'utilisation des fourrages ont évolué avec un intérêt plus important pour l'herbe pâturée ; 4- les techniques de conservation de l'herbe ont évolué avec le développement des fourrages mi-fanés (balles rondes enrubannées...) et 5- les préoccupations croissantes relatives à la santé de l'animal, à la qualité des produits animaux et à l'impact des rejets sur l'environnement amènent à vouloir évaluer les fourrages également par rapport à ces finalités, qui dépassent les concepts classiques de valeur alimentaire. Il devient donc nécessaire de faire évoluer les tables de la

valeur des fourrages pour prendre en compte les nouvelles pratiques et les nouvelles finalités. Cette évolution des tables se fera par étapes successives.

Dans cette communication, notre objectif est de faire le point sur les travaux en cours pour améliorer les connaissances et sur les démarches proposées pour rénover les tables de la valeur des fourrages. Auparavant nous rappellerons comment les tables de la valeur des fourrages utilisées en France et la banque de données sur laquelle elles reposent sont construites et nous les situerons par rapport à celles d'autres pays.

1. LES TABLES "INRA" DE LA VALEUR DES FOURRAGES

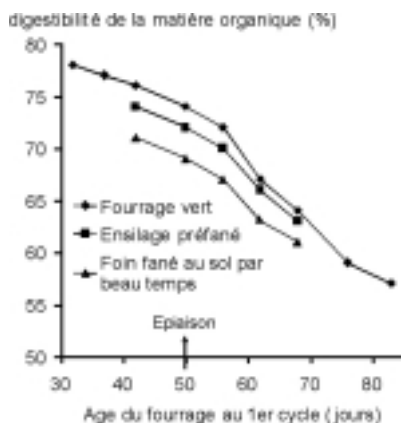
1.1. LA CONSTRUCTION DES TABLES

Les tables de la valeur des fourrages découlent des mesures *in vivo* de la digestibilité et de l'ingestibilité des fourrages chez le mouton (Demarquilly *et al.*, 1995 et Baumont *et al.*, 2004 pour les méthodes de mesures). Ces mesures entreprises au début des années 1960, ont abouti à une première version appelée tableaux de la valeur alimentaire des fourrages (Demarquilly et Weiss, 1970), puis à des versions plus complètes proposant des valeurs exprimées dans les nouvelles unités d'alimentation (Demarquilly *et al.*, 1978 ; Andrieu *et al.*, 1988).

1.1.1. Des mesures systématiques pour les fourrages verts

L'effort de mesure *in vivo* a porté en premier lieu sur les fourrages verts cultivés en prairie temporaire et en culture annuelle avec comme principaux facteurs de variation la famille botanique, l'espèce végétale, le cycle de végétation et le stade phénologique de la plante (figure 1), les modifications de composition morphologique et chimique induites par ces facteurs de variation expliquant pour une large part les variations de digestibilité et d'ingestibilité. Ainsi les valeurs proposées pour les 294 fourrages verts de référence définis par espèce végétale, cycle et stade de végétation proviennent de la compilation des 1524 données expérimentales obtenues *in vivo* (Andrieu *et al.*, 1988).

Figure 1 : évolution de la digestibilité du dactyle selon l'âge du fourrage vert et son mode de conservation (d'après Tables INRA, Andrieu *et al.*, 1988)



1.1.2. Des mesures directes et des comparaisons avec le fourrage vert pour les fourrages conservés

Les mesures *in vivo* pour les fourrages conservés ont été moins systématiques (277 pour les ensilages d'herbe et 539 pour les foins), leur valeur alimentaire dépendant avant tout de celle du fourrage vert correspondant sur pied. Elles ont porté sur les caractéristiques globales des fourrages (famille, teneur en MS) et sur les techniques de récolte et de conservation mises en œuvre : pour l'ensilage, coupe directe ou préfanage, longueur des brins, apport ou non d'un conservateur ; pour le foin, séchage par ventilation ou par fanage au sol et conditions climatiques lors du fanage au sol. Les valeurs proposées dans les tables pour les fourrages conservés sont calculées à partir de la valeur du fourrage vert correspondant et de relations de passage prenant en compte les effets des techniques de conservation et des conditions de récolte (INRA, 1981 ; Andrieu et Demarquilly, 1987, figure 1), séparant ainsi les facteurs influençant la valeur du fourrage vert sur pied de ceux liés à la conservation.

Ces relations de passage, basées 154 comparaisons pour les foins et 277 pour les ensilages ont permis de proposer des valeurs pour une grande variété de fourrages conservés. Ainsi dans leur version papier (Andrieu *et al.*, 1988) les tables renseignent les valeurs de 160 fourrages ensilés et de 105 foins et dans la version sur support informatique du logiciel INRAtion (1989-2003) un nombre nettement plus important, 475 ensilages et 361 foins. En pratique ces équations permettent également de prévoir la valeur d'un fourrage conservé dès sa récolte à partir de la valeur du fourrage vert sur pied. Toutefois cette démarche ne permet pas de prendre en compte d'éventuelles interactions entre les facteurs de variation de la valeur des fourrages verts et ceux rendant compte des effets de la conservation.

1.1.3. Des relations de passage entre ovins et bovins pour évaluer l'ingestibilité

Dulphy *et al.* (1987) ont établi des relations de passage entre l'ingestibilité des fourrages verts mesurée sur mouton et celle mesurée sur génisse et sur vache laitière, ainsi que des relations de passages pour les deux types de bovins entre les ingestibilités des fourrages conservés et celles des fourrages verts correspondants. Ainsi des valeurs d'encombrement pour les bovins ont pu être proposées pour l'ensemble des fourrages des tables.

1.1.4. En complément des tables, des équations de prévision de la valeur alimentaire

Celles-ci ont d'abord été proposées par espèce végétale et cycle de végétation à partir de la composition chimique (matières minérales, matières azotées totales et cellulose brute) 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). 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). En particulier l'ingestibilité et les valeurs d'encombrement sont estimées à partir de la digestibilité afin de garantir la cohérence entre l'estimation de cette valeur d'encombrement et celle de la valeur nutritive.

1.2. LES TABLES FRANÇAISES PAR RAPPORT A CELLES D'AUTRES PAYS

Nous avons comparé les tables utilisées en France à celles utilisées au Royaume Uni (ADAS, 1992), aux Etats-Unis (NRC, 1996), aux Pays-Bas (CVB, 2001), en Suisse (Daccord *et al.*, 1999) et à celles proposées en Allemagne par le système d'évaluation de la valeur des aliments de Rostock (Jentsch *et al.*, 2003).

Le nombre de fourrages de référence présents dans les tables françaises est largement supérieur du fait de la diversité des systèmes fourragers et des études systématiques conduites de longue date en France. Les tables de l'ADAS (1992) ne proposent que 22 fourrages verts, 18 ensilages et 12 foins de référence et les tables du NRC (1996) proposent moins de 100 fourrages de référence. Les concepts de cycles et de stades de végétation qui structurent les tables utilisées en France n'y sont pas présents de façon explicite. Il est probable qu'une large partie de la plage de variation donnée pour chaque fourrage de référence dans les tables de l'ADAS (1992) est liée à ces facteurs de variation. En revanche, ces tables font apparaître pour certaines espèces fourragères des différences entre variétés, information que l'on ne trouve dans aucune des autres tables. Aux Pays-Bas les références proposées par le CVB (2001) sont basées sur des équations de prévision des valeurs énergétiques et azotées à partir de la composition chimique et seules quelques valeurs repères sont données par grande catégorie de fourrages et mois de récolte ou d'exploitation. Les tables dont la structure se rapproche le plus de celles utilisées en France sont celles proposées par le groupe de Rostock en Allemagne qui ont été récemment réactualisées (Jentsch *et al.*, 2003) et les tables utilisées en Suisse (Daccord *et al.*, 1999). On y retrouve comme facteurs d'entrée pour les fourrages verts la famille botanique, l'espèce végétale, le cycle et le stade développement et des tables construites de

façon similaire pour les fourrages conservés avec la prise en compte de la qualité de conservation.

Au niveau des paramètres renseignés des différences apparaissent également. La matière organique (ou bien les matières minérales) et les matières azotées totales ainsi que les digestibilités correspondantes sont présentes dans toutes les tables consultées. En revanche la façon dont les glucides et la fraction pariétale sont renseignés est assez variable selon les pays. Dans les tables françaises et les tables suisses comme dans les équations utilisées aux Pays-Bas, les glucides pariétaux sont caractérisés par la teneur en cellulose brute. Les teneurs en sucres et en amidon sont renseignées dans les tables de Rostock qui estiment une “fraction pariétale” en retranchant à la matière sèche du fourrage, les matières azotées, l’amidon, les sucres, les lipides et les cendres. Les tables du Royaume-Uni et des Etats-Unis sont basées sur le fractionnement “Van Soest” en NDF, ADF et lignine. Bien que la mesure de la cinétique de dégradation des constituants des fourrages soit devenue une mesure largement répandue dans les études portant sur la valeur des fourrages, seules les tables américaines proposent de façon explicite des valeurs caractérisant les rythmes de dégradation des glucides et des protéines des fourrages dans le rumen. Il est vrai que ces paramètres interviennent dans le système énergétique du NRC (1996) alors que les systèmes européens utilisent une approche plus globale. En revanche, les tables françaises sont les seules à donner des valeurs d’ingestibilité des fourrages, les mesures de digestibilité étant réalisées avec des animaux nourris à volonté alors qu’elles sont réalisées avec des animaux nourris en qualité limitée dans les autres pays.

Un autre point concerne la façon dont les prairies permanentes sont caractérisées. Elles n’apparaissent pas dans les tables du Royaume-Uni ni dans les équations proposées aux Pays-Bas. Quelques références apparaissent dans les tables allemandes de Rostock, selon la qualité et la fertilisation de la prairie et dans les tables des Etats-Unis pour quelques grands types de prairie. Dans les tables INRA elles sont caractérisées à partir d’études spécifiques menées dans des lieux géographiques précis (Plaine de Normandie, Demi-Montagne d’Auvergne par exemple). Les tables suisses (Daccord *et al.*, 1999) proposent une démarche originale qui permet de prendre en compte la grande diversité de composition botanique des prairies selon les conditions de milieu et d’exploitation. La caractérisation de la valeur alimentaire repose sur une typologie simplifiée classant les prairies selon leurs proportions en différentes familles botaniques (graminées, légumineuses et autres plantes).

2. ACTUALISER LES TABLES DE LA VALEUR ALIMENTAIRE

Une réactualisation des tables de la valeur alimentaire des fourrages est en cours dans le cadre de la réédition des tables de l’alimentation des bovins, ovins et caprins. Comme pour les tables des matières premières utilisées dans les aliments concentrés (INRA-AFZ, 2002), cette réactualisation se situe dans le cadre des unités d’alimentation existantes.

2.1. LES OBJECTIFS DE REACTUALISATION

Concernant les types de fourrages, la principale modification consistera en l’introduction des **fourrages mi-fanés** récoltés, en particulier selon la technique des balles rondes enrubannées (BRE). Les valeurs du **maïs** seront réactualisées à partir des données acquises depuis 1988, ce qui permettra de proposer des valeurs moyennes

correspondant à un matériel génétique plus récent. L’objectif des tables n’est pas de rendre compte de la variabilité génétique intraspécifique. Celle-ci, comme par exemple pour l’ingestibilité du maïs (Barrière *et al.*, 2003), peut être prise en compte en partie par les critères explicatifs utilisés dans les méthodes de prévision. D’autres types de fourrages nécessiteraient à l’avenir d’être réactualisés (les céréales immatures par exemple) ou introduits (les ensilages de sorgho par exemple).

Concernant les critères renseignés dans les tables, les modifications porteront principalement sur :

1- **la composition en constituants pariétaux**. En 1988, seules la cellulose brute et la fraction ligno-cellulose estimée à partir de la CB étaient présentes dans les tables. La nature et la quantité de parois végétales jouent un rôle à la fois sur la digestibilité et l’ingestibilité des fourrages, donc sur leur valeur alimentaire, mais aussi sur la santé de l’animal et la qualité des produits à travers leur rôle dans la fibrosité de la ration et sur l’orientation des fermentations dans le rumen. L’utilisation de la spectrométrie dans le proche infra-rouge sur les échantillons de la banque de données *in vivo* (Andueza *et al.*, 2005) devrait permettre de donner les valeurs de parois végétales totales (NDF) et de fraction ligno-cellulose (ADF) selon le fractionnement “Van Soest”. La présence de ces critères est également importante pour la diffusion internationale des tables.

2- **la composition en éléments minéraux majeurs**. Les données des tables de 1988 sont anciennes et on observe depuis une quinzaine d’années une évolution à la baisse de la teneur minérale des plantes cultivées. Il convient donc de réviser les valeurs minérales à partir des bases de données récentes constituées par Meschy et Peyraud (2004) pour les fourrages verts et des relations de passage entre fourrage vert et fourrage conservés proposées par Meschy *et al.* (2005). Ces données réactualisées devraient en outre permettre de calculer des nouveaux critères d’intérêt nutritionnel comme le bilan alimentaire cations anions.

3- **les valeurs PDI**. En 1988 faute de données suffisamment nombreuses, les facteurs de variation de la valeur PDI liés au fourrage avaient été pris en compte de façon sommaire en fixant les valeurs de dégradabilité théorique de l’azote dans le rumen (DT) et de digestibilité réelle dans l’intestin grêle (dr) par grande catégorie de fourrages. A partir de l’ensemble des données acquises depuis 1988 il est maintenant possible de faire varier les valeurs de DT et de dr de façon plus fine selon la famille botanique, le cycle de végétation et le stade phénologique du fourrage (Nozières *et al.*, 2005).

2.2. LES ESSAIS ET LES DONNEES MOBILISEES

Depuis 1988 deux séries d’essais ont été réalisées sur le maïs fourrage. La première (254 mesures du “club digestibilité”, Andrieu *et al.*, 1993) a permis de préciser les principaux facteurs de variation de la composition chimique et de la valeur nutritive du maïs plante entière offert en vert à des moutons et d’établir des équations de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique (Andrieu et Aufrère, 1996). La seconde série d’essais a eu pour objectif de préciser la valeur d’encombrement du maïs ensilage pour la vache laitière et d’identifier des critères de prévision de cette valeur. Les résultats confirment différentes observations indiquant que les valeurs UEL des tables de 1988 sont surestimées d’environ 10 % (Andrieu *et al.*, 1997). Elles confirment également la relation entre l’ingestibilité et la digestibilité de l’ensilage de maïs (Andrieu et Baumont, 2000), en cohérence avec la méthode de prévision proposée

(Baumont *et al.*, 1999). Ces données, avec des données issues de mesures réalisées dans d'autres lieux (Barrière et Emile, 2000), permettront de mieux estimer les valeurs UF et UEL du maïs fourrage.

Une troisième série d'essais a porté entre 1996 et 2002 sur les fourrages de graminées et de légumineuses avec comme principal objectif d'améliorer la connaissance de la valeur PDI des fourrages. Au total 128 fourrages (35 fourrages verts, 36 foin, 32 ensilages directs, 25 BRE), ont été étudiés, dont 103 *in vivo* sur moutons (Dulphy *et al.*, 1999a et b). Les espèces végétales étudiées ont été les *ray-grass* anglais et hybride, le dactyle, la luzerne, le trèfle violet ainsi qu'une prairie permanente. Soixante-sept fourrages ont été impliqués dans des comparaisons pour mesurer l'influence de l'âge du fourrage (3 stades au 1^{er} cycle et une repousse pour les 7 espèces), l'effet de la fenaison par rapport au fourrage vert initial (15 cas), celle de l'ensilage direct (10 sans conservateur et 10 avec acide formique), celle du mi-fanage (8 BRE). Pour préciser les valeurs PDI, la dégradabilité dans le rumen de l'azote des 128 fourrages a été étudiée par la méthode *in situ* (Michalet-Doreau *et al.*, 1987, modifiée par Dulphy *et al.*, 1999a) et sur un groupe de 49 fourrages les matières azotées alimentaires indigestibles dans l'intestin grêle ont été mesurées par la technique des sachets mobiles intestinaux. Afin d'accroître le nombre de données et couvrir un champ plus large de pratiques pour la prévision de la dégradabilité de l'azote de fourrages nous avons constitué une banque de données regroupant les données acquises dans d'autres laboratoires INRA et à l'étranger (*cf.* Nozières *et al.*, 2005).

2.3. EXEMPLE : LES FOURRAGES MI-FANÉS

A titre d'exemple nous détaillerons la démarche proposée pour définir les valeurs des fourrages mi-fanés. Une première synthèse des mesures de la valeur alimentaire des BRE a montré qu'elle se situe logiquement entre celles des ensilages et des foin correspondants (Demarquilly *et al.*, 1998). Nous avons donc choisi de construire les valeurs des fourrages mi-fanés en fonction des relations qui peuvent être établies avec le fourrage vert et les autres modes de conservation (ensilage ou foin). Pour cela les données expérimentales qui ont été rassemblées devaient correspondre à des études menées en parallèle à partir du même fourrage vert de départ, sur le fourrage mi-fané et sur au moins un autre type de fourrage (vert, ensilage, foin). Les critères suivants devaient avoir été mesurés : matière sèche (MS), matières minérales (MM), matières azotées totales (MAT), cellulose brute (CB), digestibilité de la matière organique (dMO) et ingestibilité mesurée chez le mouton (QIM).

Les données proviennent de l'URH de Theix (9 essais), du domaine des Monts-Dore (11 essais) et du domaine du Pin (10 essais). Au total, nous disposons de 30 essais dans lesquelles un fourrage mi-fané a été comparé avec soit le fourrage vert de départ soit un fourrage conservé différemment. Seize comparaisons ont été réalisées avec des prairies permanentes ou des graminées et 14 avec des légumineuses (luzerne et trèfle violet). Les teneurs en MS des BRE varient entre 32 et 70 %. Nous disposons de 9 correspondances avec des fourrages verts, en majorité des légumineuses, de 25 avec des ensilages récoltés avec une teneur en MS proche de 25 % et en majorité avec addition

de conservateur et de 19 avec des foin fanés au sol généralement par beau temps (tableau 1).

Tableau 1 : composition chimique, digestibilité et ingestibilité des fourrages mi-fanés (BRE) étudiés en correspondance avec des fourrages verts (FV), des ensilages (ENS) ou des foin (pour chaque critère valeur moyenne $\pm$ écart-type et corrélation entre les deux types de fourrages)

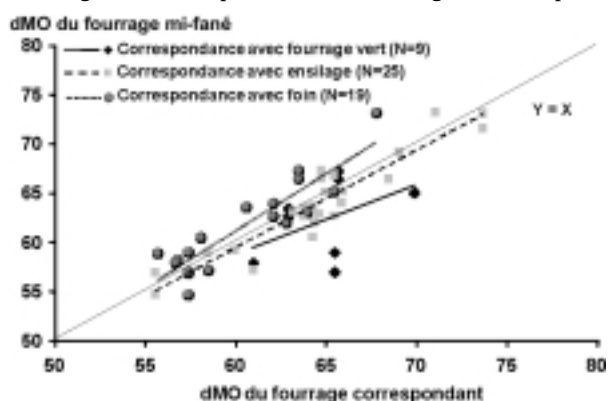
	FV	BRE	ENS	BRE	Foin	BRE
	N=9		N=25		N=19	
MS (%)	19,7 $\pm$ 5,1	55,1 $\pm$ 10,2	24,4 $\pm$ 4,4	54,8 $\pm$ 11,2	85-88	59,4 $\pm$ 9,7
MM (g/kg MS)	110 $\pm$ 12,8	102 $\pm$ 7,3	100 $\pm$ 17,1	96 $\pm$ 13,3	92 $\pm$ 12,5	94 $\pm$ 11,8
	R = 0,80		R = 0,37		R = 0,82	
MAT (g/kg MS)	139 $\pm$ 33,3	115 $\pm$ 20,5	153 $\pm$ 34,8	145 $\pm$ 34,9	128 $\pm$ 33,5	131 $\pm$ 34,8
	R = 0,78		R = 0,94		R = 0,95	
CB (g/kg MS)	301 $\pm$ 12,9	326 $\pm$ 12,1	302 $\pm$ 31,5	315 $\pm$ 27,7	325 $\pm$ 26,7	325 $\pm$ 23,7
	R = 0,62		R = 0,89		R = 0,71	
dMO (%)	64,5 $\pm$ 2,8	61,8 $\pm$ 4,0	64,7 $\pm$ 4,5	64,0 $\pm$ 4,8	60,2 $\pm$ 3,6	61,3 $\pm$ 4,6
	R = 0,50		R = 0,93		R = 0,90	
QIM (g MS/kg PV ^{0,75})	83,5 $\pm$ 8,3	63,2 $\pm$ 5,0	63,8 $\pm$ 12,4	60,3 $\pm$ 9,3	61,6 $\pm$ 11,7	60,6 $\pm$ 10,3
	R = 0,68		R = 0,80		R = 0,83	

La composition chimique des fourrages mi-fanés est caractérisée par des teneurs en MAT plus faibles et des teneurs en CB plus fortes que celles des fourrages verts correspondants. Les écarts avec l'ensilage vont dans le même sens, mais sont plus faibles. En définitive la composition chimique des fourrages mi-fanés est proche de celle des foin correspondants (tableau 1).

Par rapport au fourrage vert, la dMO des fourrages mi-fanés est plus faible de 2,7 points. Cela situe les fourrages mi-fanés légèrement en dessous des ensilages préfanés. Les comparaisons avec les ensilages et les foin confirment que la dMO des fourrages mi-fanés est intermédiaire (*cf.* Demarquilly *et al.*, 1998), avec un écart moyen de -0,7 point par rapport à l'ensilage et de +1,1 par rapport au foin. Les écarts de digestibilité entre BRE et foin ou ensilage sont plus élevés pour les légumineuses que pour les graminées en accord avec les résultats de Peccatte et Dozias (1998). En effet les pertes mécaniques de feuilles au cours du fanage sont plus importantes pour les légumineuses. L'ingestibilité des fourrages mi-fanés représente 76 % de celle des fourrages verts correspondant, ce qui la situe légèrement en dessous de celle de l'ensilage préfané correspondant (85 % pour les légumineuses) et proche de celle du foin fané au sol par beau temps. La comparaison avec les foin confirme également que l'ingestibilité chez le mouton des fourrages mi-fanés est légèrement inférieure à celle des foin correspondants (Demarquilly *et al.*, 1998).

Si le nombre de comparaisons directes avec le fourrage vert est trop faible pour construire une table des fourrages mi-fanés à partir de ces seules relations, ces comparaisons nous ont permis de définir les niveaux auxquels seront placées les valeurs des fourrages mi-fanés. Pour construire la table, les équations établies à partir des correspondances entre les fourrages mi-fanés et les foin ou les ensilages pourront être utilisées. Elles ont une précision satisfaisante (tableau 1), en particulier pour la dMO (figure 2).

Figure 2 : relation entre la dMO des fourrages mi-fanés et la dMO des fourrages élaborés à partir du même fourrage vert de départ



Sur ces comparaisons nous n'avons pas mis en évidence d'effet significatif de la teneur en MS du fourrage mi-fané sur sa digestibilité et seulement un léger effet significatif sur l'ingestibilité comparée à l'ensilage chez le mouton. Nous ne proposerons donc qu'une seule catégorie de fourrages mi-fanés pour des teneurs en MS proches de 55 % qui permettent d'assurer une bonne qualité de conservation et de limiter le nombre de spores butyriques (Demarquilly *et al.*, 1998). La digestibilité des fourrages mi-fanés pourra être prévue à partir de la digestibilité pepsine-cellulase, les nouvelles équations (Aufrère *et al.*, 2005) pouvant s'appliquer à l'ensemble des fourrages fermentés. La valeur azotée sera calculée à partir des nouvelles équations proposées pour estimer les valeurs de DT et de dr des fourrages (Nozières *et al.*, 2005).

Dans les essais récapitulés par Demarquilly *et al.*, (1998) les quantités ingérées de fourrages mi-fanés par les bovins étaient légèrement inférieures à celles des ensilages correspondants, mais toujours supérieures à celle des foin. L'ingestion chez les bovins est donc cohérente avec le fait que la digestibilité des fourrages mi-fanés soit supérieure à celle des foin. En conséquence nous proposons d'estimer les valeurs d'encombrement des fourrages mi-fanés pour les bovins à partir des équations établies pour PrevAlim (Baumont *et al.*, 1999) qui prennent en compte un effet positif de la dMO sur l'ingestibilité.

3. PERSPECTIVES POUR UNE EVALUATION "MULTI-OBJECTIFS" DE LA VALEUR DES FOURRAGES

L'alimentation d'un troupeau d'herbivores ne se raisonne plus uniquement par rapport à la satisfaction des besoins nutritionnels pour maximiser les objectifs de production. 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 et plus globalement sur le rôle des herbivores dans l'entretien des espaces herbagers doivent être prises en compte dans l'évaluation des fourrages. Nous allons ici illustrer à travers quelques exemples les démarches possibles pour aller vers une évaluation "multi-objectifs" de la valeur des fourrages.

3.1. VERS UNE NOUVELLE APPROCHE DE LA PRAIRIE PERMANENTE

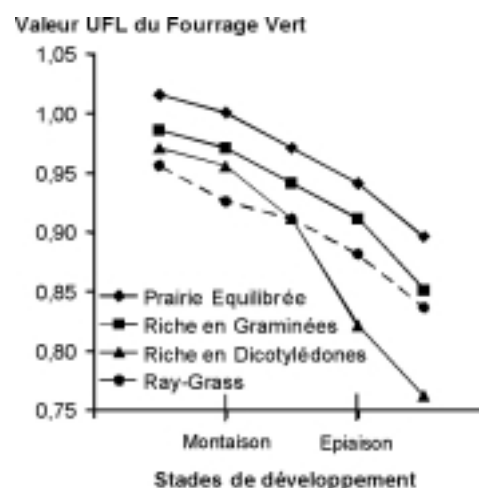
Les prairies permanentes représentent plus de 60 % de la surface fourragère en France. Leur utilisation cherche de plus en plus à concilier une fonction de production et une fonction environnementale. La dénomination prairie permanente recouvre des couverts végétaux qui présentent une grande variabilité de composition botanique (Loiseau *et*

al., 1990) et de valeur nutritive au cours de la saison, y compris dans une même région (Duru 1997). Les valeurs actuellement présentes dans les tables, sont classées en fonction de 3 situations géographiques – plaine, demi montagne, montagne – illustrée par trois régions (Normandie, Auvergne, Alpes). Elles sont issues d'études spécifiques et ne peuvent pas rendre compte de cette diversité et ne sont donc pas extrapolables pour d'autres prairies (Roumet *et al.*, 1996).

La composition botanique d'une prairie influence sa valeur nutritive, d'une part à cause des différences de digestibilité entre espèces mesurées à un même stade et d'autre part à cause des différences de stade de maturité entre espèces (Schubiger *et al.*, 2001, Daccord *et al.*, 2002, revue de Bruinenberg *et al.*, 2002). Par ailleurs, les différences de stades de maturité entre espèces affectent la composition morphologique de la prairie et en particulier le rapport feuilles/tiges qui détermine pour une large part la digestibilité.

La composition botanique d'une prairie résulte de facteurs naturels liés au milieu (sol, climat, topographie) et de facteurs anthropiques liés au mode d'exploitation (intensité d'utilisation, fertilisation) (Jeangros *et al.*, 1994). A une combinaison donnée de facteurs correspond un habitat caractérisé par des conditions de concurrence entre espèces qui engendrent la domination de certaines espèces, le maintien ou la disparition d'autres. En croisant un premier axe représentant le niveau de disponibilité en éléments minéraux du milieu et un second axe représentant l'intensité de défoliation ou encore d'utilisation de la prairie, il est possible de différencier des types de prairies caractérisés par la plus ou moins grande dominance de groupes d'espèces classés selon leurs stratégies d'utilisation des ressources (eau, lumière, éléments minéraux) et d'aptitude à la défoliation (Cruz *et al.*, 2002). Au final, il serait possible de décrire des compositions botaniques types, indépendantes de la région d'étude.

Figure 3 : évolution avec le stade de développement de la valeur UFL de différents types de prairies et du ray-grass (d'après Daccord *et al.*, 1999)



Ce type de classement a déjà été utilisé dans différentes régions françaises et en Suisse. Thoeni *et al.*, (1991) ont défini pour les prairies suisses 4 classes depuis l'intensif jusqu'à l'extensif selon les niveaux combinés de fertilisation et d'intensité d'utilisation. Sur la base de cette classification, une typologie simplifiée a été proposée selon la proportion de graminées, de légumineuses et d'autres plantes dans la

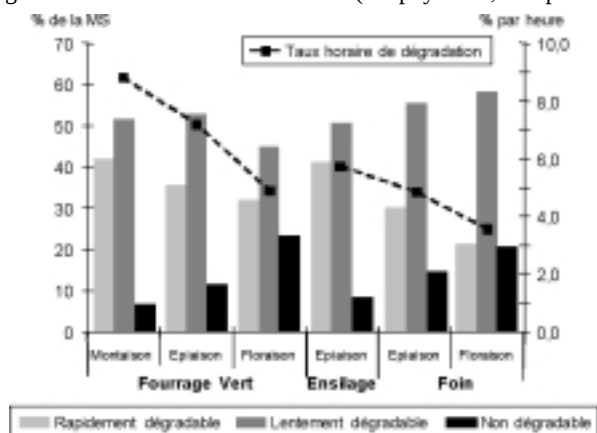
prairie. A partir de cette typologie et du stade de développement de la prairie, défini par rapport à une plante de référence (la graminée dominante), Daccord *et al.*, (1999) ont construit une table de la valeur alimentaire des prairies Suisses. Ainsi par exemple, la valeur des prairies équilibrées, qui contiennent 30 à 50 de légumineuses est supérieure à celle des prairies riches en graminées. Les prairies riches en dicotylédones (+ de 50 %) ont une valeur élevée en début de cycle, mais qui diminue ensuite rapidement (figure 3).

Utiliser ce type de classification pour raisonner la valeur alimentaire permettrait de donner une portée plus générale aux valeurs des tables. En outre cela permettrait d'approcher la notion de biodiversité et ses relations avec le mode d'exploitation et la valeur pour les animaux. Construire pour les prairies françaises une typologie à partir de celles existant dans différentes régions nécessiterait très certainement de prendre en compte un facteur du milieu supplémentaire qui est le régime hydrique.

3.2. PRENDRE EN COMPTE LA CINÉTIQUE DE DÉGRADATION DU FOURRAGE POUR PRÉVOIR SON INGESTIBILITÉ ET LE RISQUE ACIDOSE

L'étape de dégradation dans le rumen est fondamentale dans la régulation des flux d'ingestion et de digestion chez le ruminant. Une méthode largement répandue pour évaluer la cinétique de dégradation des aliments est la mesure *in situ* (Orskov, 2000). Celle-ci consiste à suivre au cours du temps la disparition d'échantillons d'aliment placés dans des sachets de nylon qui incubent dans un rumen de vache nourrie avec un régime standard. Les fractions rapidement, lentement et non dégradables ainsi que le taux horaire de dégradation de la fraction lentement dégradable peuvent ainsi être caractérisées pour différents constituants de l'aliment (MS, protéines, parois végétales, amidon...). A partir de l'ensemble de la cinétique, des paramètres intégrés peuvent être calculés comme la dégradabilité théorique, utilisée pour les protéines dans le système PDI et le temps de séjour "sachets" qui est fortement corrélé avec le temps de séjour apparent de la MS mesuré *in vivo* (Baumont *et al.*, 1996).

Figure 4 : évolution des paramètres de la cinétique de dégradation de la MS du ray-grass hybride avec le stade de végétation et le mode de conservation (Dulphy *et al.*, non publié)

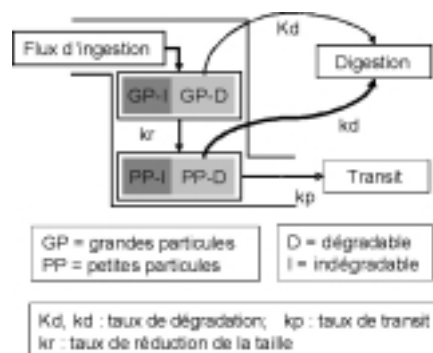


Ainsi par exemple (figure 4) l'importance de la fraction rapidement dégradable et le taux de dégradation décroissent avec le stade de maturité de la plante. La conservation en foin modifie l'équilibre entre fraction rapidement et lentement dégradable, mais n'augmente pas la fraction non dégradable. Récemment, des valeurs caractérisant la

dégradation de la MS et de l'amidon ont été proposées pour les principales matières premières (INRA-AFZ, 2002). Renseigner ces paramètres, ou du moins quelques valeurs repères pour les fourrages présenterait un double intérêt, pour caractériser l'ingestibilité et pour évaluer le risque d'acidose.

Il n'existe pas actuellement de critère simple pour prévoir l'ingestibilité comme la digestibilité enzymatique le permet pour la digestibilité *in vivo*. L'ingestibilité d'un fourrage dépend en large partie de l'encombrement qu'il exerce dans le rumen (Baumont *et al.*, 1997). Cet encombrement est d'autant plus important que le temps de séjour du fourrage dans le rumen est élevé. Celui-ci augmente lorsque la fraction rapidement dégradable (constituants solubles principalement) diminue au profit des fractions lentement dégradables (parois non lignifiées) et non dégradables (parois lignifiées) et que leur vitesse de dégradation diminue. Des études préliminaires ont montré, pour une large gamme de fourrages, que le temps de séjour "sachets" est fortement lié ($R^2 = 0,77$) à l'ingestibilité du fourrage (Baumont *et al.*, 1996, 2002). Néanmoins, ce critère basé sur la mesure de la dégradation d'un aliment finement broyé présente le défaut de ne pas prendre en compte le temps nécessaire à la réduction de la taille des particules, qui peut varier avec la nature des parois végétales du fourrage et avec sa granulométrie. Nous avons alors proposé un modèle plus mécaniste qui prend en compte dans le calcul du temps de séjour des fourrages dans le rumen le taux de réduction de la taille et le taux de transit des particules en fixant ces valeurs par grande classe de fourrages (Figure 5, Baumont *et al.*, 2002).

Figure 5 : un modèle de la dégradation des fourrages pour estimer le temps de séjour dans le rumen (d'après Baumont *et al.*, 2002)



Le degré d'acidose ruminale peut être caractérisé par la durée de pH < 6 (Sauvant *et al.*, 1999) car la digestion des fibres est peu affectée dans la gamme de pH allant de 6,8 à 6,0 mais elle est réduite ensuite très rapidement (Mould et Orskov, 1984). De même l'ingestion chute et surtout devient irrégulière lorsque les rations conduisent à des pH faibles (Peyraud, 2000). La chute du pH est d'abord liée à une production intense d'acides dans le rumen non compensée par les flux de tampons salivaires. Connaître les caractéristiques de la cinétique de dégradation de la MS des aliments présente donc un intérêt pour évaluer les risques. Ainsi Peyraud (2000) a montré que la durée de pH < 6 était étroitement reliée à la quantité de MS "rapide" ingérée, celle-ci étant calculée à partir du taux de dégradation des aliments en 4h d'incubation *in situ*. Pour les concentrés, cette valeur est aisément calculée à partir des tables INRA-AFZ (2002). Dans le cas des fourrages, la mesure est biaisée puisqu'elle

est obtenue à partir d'échantillons finement broyés. Elle sera donc à pondérer par la répartition granulométrique du fourrage ingéré (donc après reprise des silos). En première approche, Peyraud (2000) avait proposé de ne retenir que les particules < 4 mm ce qui correspond à la taille maximale des particules qui peuvent quitter le rumen chez les animaux à fort niveau d'ingestion. Ce critère permet alors de prendre en compte les effets de la nature des glucides non structuraux du régime et de la finesse de hachage des fourrages.

La chute du pH ruminal dépend aussi de la production de tampons par la salive. De ce point de vue, les nouvelles tables de valeur des fourrages devraient permettre de prévoir le pouvoir masticatoire des fourrages à partir de leur teneur en NDF et de leur granulométrie en considérant des grandes familles caractérisées par la résistances des fibres à la mastication à partir de la famille, du stade et des modes de conservation. Il est toutefois possible que ce critère soit étroitement et négativement corrélé à la MS rapide et qu'il n'apporte pas d'information supplémentaire en terme de prévision des risques.

Les caractéristiques de la cinétique de dégradation de la MS des fourrages (et si possible d'autres critères comme les parois végétales et l'amidon) seront définies à partir des bases récemment constituées, en particulier pour la réactualisation des valeurs PDI (cf. § 2.2 et Nozières *et al.*, 2005). Une démarche analogue à celle utilisée pour la dégradabilité de protéines sera sans doute utilisée en s'appuyant sur des régressions intra-type de fourrages pour pouvoir renseigner les principales familles botanique, les principaux stade de végétation et modes de conservation différents types de fourrage.

3.3. MIEUX CONNAITRE LA COMPOSITION DES FOURRAGES EN COMPOSES IMPLIQUES DANS LA QUALITE DES PRODUITS ANIMAUX

Les principaux composés du lait et de la viande dont l'action sur la santé humaine est reconnue sont les acides gras (AG), en particulier les polyinsaturés comme les acides linoléique et linoléique. D'autres AG font l'objet d'études pour leur rôle sur la santé : en particulier l'acide ruménique de la famille des CLA ou acides linoléiques conjugués et son précurseur l'acide vaccénique. Ces AG sont en partie issus de l'hydrogénation des AG polyinsaturés. Il est maintenant bien établi que le profil en AG des laits est lié à la composition des fourrages (Chilliard *et al.*, 2001) et notamment à leur teneur en AG et surtout en AG polyinsaturés. Leurs valeurs pourraient être incluses dans les tables de valeurs des fourrages. Il existe de nombreuses données dans la littérature permettant de dégager les principaux facteurs de variation de la teneur et de la composition en AG des fourrages. Les facteurs les plus étudiés sont le stade et la conservation (ensilage, foin) pour le ray-grass, le dactyle, la luzerne et le trèfle violet, mais d'autres espèces végétales et d'autres facteurs comme la fertilisation ont été étudiés. Des essais en cours à l'INRA permettent de compléter la base de données qui vient d'être constituée en ce sens. Parallèlement, il est nécessaire d'établir des relations entre AG totaux et/ou polyinsaturés et l'extrait éthéré, qui figure actuellement dans les Tables des fourrages. Il y a toutefois un écueil. La méthode de dosage de l'extrait éthéré a changé au cours du temps, passant de l'utilisation d'éther diéthylique à l'éther de pétrole, moins dangereux. Or ces deux méthodes donnent des résultats différents (Doreau *et al.*, 1987). Ceci nécessitera des mesures complémentaires avec l'éther de pétrole sur les

principaux fourrages des tables et pour améliorer la relation entre AG et extrait éthéré.

D'autres composés ont un effet potentiel sur la santé humaine: les polyphénols, en particulier des flavonoïdes dont les isoflavones, ont un pouvoir antioxydant et pourraient avoir un effet préventif sur certains cancers. Leur transfert des fourrages au lait a fait l'objet d'études récentes (Besle *et al.*, 2004). Enfin, différentes molécules ont un rôle antioxydant. Outre les polyphénols, on peut citer les caroténoïdes et la vitamine E dont le transfert dans le lait commence à être connu (Nozière *et al.*, 2004). La qualité sensorielle des produits est multifactorielle, mais parmi les molécules connues pour la modifier, on retrouve les acides gras, qui jouent sur la saveur et les caroténoïdes, impliqués dans la couleur.

Ultérieurement, les teneurs en caroténoïdes totaux, vitamine E et en polyphénols totaux pourraient être incluses dans les tables, à moins qu'un "pouvoir antioxydant" total soit jugé plus pertinent. Toutefois, les facteurs de variation de la teneur en polyphénols totaux des fourrages et donc du pouvoir antioxydant, sont actuellement peu connus et doivent donc tout d'abord être précisés. En revanche, pour les caroténoïdes, qui sont des constituants liposolubles, il semble qu'il y ait une bonne relation avec l'extrait éthéré et que tous deux varient de la même manière avec le stade de végétation et le mode de conservation (Chauveau-Duriot *et al.*, 2005). On peut donc concevoir à moyen terme une valeur de caroténoïdes totaux ou de β -carotène et de vitamine E, pour autant que l'avancement des connaissances confirme leur intérêt en tant que composante de la qualité des produits.

3.4. LA PRODUCTION DE METHANE DEPEND-ELLE DE LA NATURE DU FOURRAGE ?

Evaluer l'impact des systèmes d'élevage sur l'environnement, par exemple l'évaluation de la production de gaz à effets de serre, doit se faire à l'échelle globale de l'exploitation pour avoir une signification. Il faut intégrer l'ensemble des sources de production et la consommation d'énergie fossile de toutes les composantes du système.

Pour évaluer la part liée à l'alimentation dans ce type de bilan, on peut s'interroger sur la nécessité de tenir compte de la nature du fourrage. Nous avons comparé 3 équations (Blaxter et Clapperton, 1965, Vermorel et Agabriel, non publié, Giger-Reverdin *et al.*, 1992) pour estimer la production de méthane par kg de MS ingérée de différents fourrages. Lorsqu'on les applique à des fourrages des tables, ces 3 équations donnent des résultats très différents. De plus, ils ne sont pas forcément cohérents avec des productions de méthane mesurée *in vivo* pour des fourrages pâturés par des vaches (Pinares Patino *et al.*, 2003). Il apparaît donc utile de ré-analyser les données bibliographiques obtenues *in vivo* avec des fourrages seuls pour établir de nouvelles équations spécifiques et de réaliser des mesures complémentaires afin de préciser les variations entre grands types de fourrages.

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 du stade de végétation et du mode de conservation. Reposant sur une large base de données d'essais *in vivo*, elles proposent des valeurs de composition chimique, de valeur nutritive et d'ingestibilité pour une grande diversité de fourrages. Une réactualisation de ces tables est en cours dans le but de

compléter la caractérisation des parois végétales et de la composition minérale des fourrages, de préciser les valeurs azotées dans le système PDI et d'introduire les fourrages mifanés. Pour l'avenir, ces tables pourront servir de support pour évaluer non seulement la valeur alimentaire des fourrages, mais aussi des aspects relatifs à l'impact des fourrages sur la santé de l'animal, sur la qualité des produits et sur l'environnement. Ainsi l'utilisation d'une typologie pour caractériser les prairies permanentes, l'introduction des paramètres de la cinétique de dégradation et de la composition des fourrages en acides gras d'intérêt nutritionnel pour l'homme sont à l'étude.

Tous nos remerciements à J. Andrieu, J.P. Andrieu et J.R. Peccatte pour les données et les informations communiquées.

ADAS, 1992. *UK Tables of feed composition and nutritive value for ruminants.* MAFF Chalcombe Publications, 99 p.

Andrieu J., Demarquilly C. 1987. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 61-74.

Andrieu J., Demarquilly C., Sauvant D. 1988. Tables de la valeur des aliments : les fourrages. In : Alimentation des bovins, ovins & caprins. Jarrige, R. ed., INRA Editions, pp. 356-444.

Andrieu J., Demarquilly C., Dardenne P., Barrière Y., Lila M., Maupetit P., Rivière F., Femenias N. 1993. Ann. Zootech., 42, 221-249.

Andrieu J., Rouel J., Perry C., Bony J. 1997. Renc. Rech. Rum., 4, 98.

Andrieu J., Aufrère, J. 1996. In : Colloque Maïs Ensilage, Nantes 17-18 Septembre 1996, AGPM Ed., pp. 61-69.

Andrieu J., Baumont, R. 2000. Fourrages, 163, 239-252.

Andueza D., Jestin M., Picard F., Andrieu J., Baumont R. 2005. Renc. Rech. Rum., 12, in press

Aufrère J., Andrieu J., Baumont R., Dulphy J.P., Delaby L., Peccatte J.R. 2005. Renc. Rech. Rum., 12, in press

Aufrère J. et Demarquilly C., 1989. XVI Intern. Grassl. Congr., Nice France, Vol 2, 877-878.

Barrière Y., Emile J.C. 2000. Fourrages, 163, 221-238.

Barrière Y., Emile J.C., Surault F. 2003. Anim. Res., 52, 489-500.

Baumont R., Dulphy J.P., Demarquilly C. 1997. Renc. Rech. Rum., 4, 57-64.

Baumont R., Barlet A., Jamot J. 1996. Renc. Rech. Rum., 3, 313-316.

Baumont R., Le Morvan A., Dulphy J.P., Sauvant D. 2002. *Grassland Science in Europe*, 7, 238-239.

Baumont R., Champciaux P., Agabriel J., Andrieu J., Aufrère J., Michalet-Doreau B., Demarquilly C., 1999. INRA Prod. Anim., 12, 183-194.

Baumont R., Chenost M., Demarquilly C. 2004. In *Herbage Intake Handbook* (P. Penning, Ed.), British Grassland Society, pp. 121-150.

Besle J.M., Lamaison J.L., Pradel P., Fraisse D., Viala D., Martin B. 2004. Renc. Rech. Rum., 11, 67-70.

Blaxter K.L., Clapperton J.L. 1965. Brit. J. Nutr., 19, 511-522.

Bruinenberg M.H., Valk H., Korevaar H., Struik P.C. 2002. *Grass and Forage Science*, 57, 292-301.

Chilliard, Ferlay A., Doreau M., 2001. INRA Prod. Anim., 14, 323-335.

Chauveau-Duriot B., Thomas D., Portelli J., Doreau M. 2005. Renc. Rech. Rum., 12, in press.

Cruz P., Duru M., Therond O., Theau J. P., Ducourtieux C., Jouany C., Al Haj Khaled R. et Ansquer P. (2002). Fourrages 172, p. 335-354

CVB, 2001. *Handleiding voederwaardeberekening ruwvoerders.* Centraal Veevoeder Bureau, Lelystad, the Netherlands.

Daccord R., Wyss U., Kessler J., Arrigo Y., Rouel M., Lehmann J., Jeangros B. 1999. In : Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour les ruminants, Zollikofen, Centrale des moyens d'enseignement agricole, Suisse, pp. 211-254.

Daccord R., Arrigo Y., Jeangros B., Scehovic J., Schubiger F.X., Lehmann J. 2002. Revue suisse Agric. 34 73-78.

Demarquilly C., Andrieu J., Sauvant D., 1978. Tableaux de la valeur nutritive des aliments. In Alimentation des Ruminants, INRA Editions, pp 519-555.

Demarquilly C., Chenost M., Giger S. 1995. In : Nutrition des ruminants domestiques. INRA Editions, pp 601-648.

Demarquilly C., Dulphy J.P., Andrieu J.P. 1998. Fourrages, 155, 349-369.

Demarquilly C., Weiss, P. 1970. Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages, INRA, S.E.I., Etude 42, 62 p.

Doreau M., Chilliard Y., Bauchart D., Morand-Fehr P. 1987. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 91-97.

Dulphy J.P., Faverdin P., Micol D., Bocquier F. 1987. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 35-48.

Dulphy J.P., Demarquilly C., Baumont R., Jailler M., L'Hotelier L., Dragomir C. 1999a. Ann. Zootech. 48, 275-288

Dulphy J.P., Baumont R., L'Hotelier L., Demarquilly C. 1999b. Ann. Zootech. 48, 469-476

Duru, M. 1997. Journal Science Food and Agriculture, 74, 175-185

Giger-Reverdin S., Sauvant D., Vermorel M., Jouany J.P. 1992. Ann. Zootech., 41, 37-38.

INRA, 1981. Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. (C. Demarquilly, ed.) 580 pages.

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. Eds., INRA Editions, 301p.

INRA, 1989-2003. Logiciel de rationnement des ruminants. CNERTA Ed., V1.0-V3.2.

Jeangros B., Berther V., Scehovic J. 1994. Revue Suisse Agric, 26, 151-154 et 163-166.

Jentsch W., Chudy A., Beyer M. 2003. In: *Rostock feed evaluation system*, Plexus Verlag, pp. 30-88.

Loiseau, P., De Montard, F.X., Ricou, G. 1990. In *Grassland in upland areas: The Massif Central (France) Ecosystem of the world* 17 A ed: Breymer A. I. Elsevier 71-97

Meschy F., Baumont R., Dulphy J.P., Nozières M.O 2005. Renc. Rech. Rum., 12, in press.

Meschy F., Peyraud J.L., 2004. Renc. Rech. Rum., 11, 255-258.

Michalet-Doreau B., Vérité R., Chapoutot P., 1987. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix. 69. 5-7

Mould F.L., Orskov E.R., 1984. Anim. Feed. Sci. Technol., 10, 1-14.

Nozière P., Martin B., Grolier P., Durand D., Ferlay A., Gruffat D., Pradel P., Prache S., Rock E., Chilliard Y., Petit M. 2004. Renc. Rech. Rum., 11, 63-66.

Nozières M.O., Dulphy J.P., Peyraud J.L., Poncet C., Baumont R. 2005. Renc. Rech. Rum., 12, in press.

NRC, 1996. In: *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, National Academy Press, Washington, USA. 242 p.

Orskov, 2000. In: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, Givens I. Ed., CABI pp. 175-188.

Pinares Patino C.S., Baumont R., Martin C. 2003. Can. J. Anim. Sci., 83, 769-777.

Roumet J.P., Fleury P., Jeannin B. 1996. Fourrages 145, 77-90.

Peccatte J.R., Dozias D. 1998. Fourrages 155, 403-407.

Peyraud J.L. 2000. Renc. Rech. Ruminants, 7, 183-186.

Sauvant D., Meschy F., Mertens D., 1999. INRA Prod. Anim., 12, 49-60.

Schubiger F.X., Lehmann J., Daccord R., Arrigo Y., Jeangros B., Scehovic J. 2001. Revue Suisse Agric. 33, 275-279

Thoeni E., Jeangros B., Amaudruz M., 1991. Revue Suisse Agric, 23, 91-98.