

Effet de la complémentation protéique sur les performances des vaches laitières au pâturage conduit à 2 niveaux de fertilisation

L Delaby, JL Peyraud, R Vérité, B Marquis

INRA, station de recherches sur la vache laitière, domaine de la Prise, 35590 Saint-Gilles, France

(Reçu le 28 janvier 1994 ; accepté le 9 août 1994)

Résumé — L'effet de la complémentation protéique sur les performances des vaches laitières multipares (30 kg de lait) au pâturage a été étudié au cours de 2 essais. Le remplacement isoénergétique d'un concentré riche en céréales à 12% de matières azotées totales (MAT) par du tourteau tanné à 49% de MAT a été comparé selon un schéma en inversion 2 x 2 répété au cours de 2 cycles de pâturage. Dans l'essai 1, les animaux ont pâturé au printemps des prairies de ray-grass anglais peu fertilisées (20 kg N/ha/cycle). Un second niveau de fertilisation (60 kg N/ha/cycle) a été introduit lors de l'essai 2. La réduction de la fertilisation azotée a entraîné une diminution importante de la teneur en MAT de l'herbe offerte qui n'a été que de 10 à 12%. Sur les prairies peu fertilisées, le tourteau a permis d'accroître les productions de lait (+2,2 kg et +1,5 kg en années 1 et 2) et de matières grasses et protéiques, sans modification des taux ; sur les prairies bien fertilisées, il a également entraîné une amélioration des performances animales mais plus modérée que sur les prairies peu fertilisées (+26 g vs +44 g par jour de matières protéiques). La teneur en urée du lait s'est accrue à la fois avec l'apport de tourteaux tannés (+15 mg/100 ml) et le niveau de fertilisation azotée (+20 mg/100 ml). Pour interpréter ces réponses zootechniques importantes, différentes hypothèses sont discutées. L'apport de protéines de qualité a amélioré la nutrition azotée de l'animal mais sans doute aussi la digestion ruminale chez les vaches laitières pâturant des prairies peu fertilisées. D'autre part, l'emploi de tourteaux tannés pourrait avoir des effets favorables sur les quantités ingérées et donc améliorer le bilan nutritif des animaux au pâturage. L'augmentation des apports d'azote, au travers de la complémentation, induit inévitablement un accroissement des rejets azotés dans les déjections au pâturage (+155 g N par jour, soit environ 95% de l'azote ingéré en plus).

pâturage / vaches laitières / azote / complémentation / fertilisation

Summary — Effect of dietary protein supplementation on grazing dairy cows' performances at 2 levels of N fertilization. Two trials were carried out to study the effect of dietary protein supplementation and rate of N fertilization on performances of grazing multiparous dairy cows (30 kg/d milk). Cows were fed 1 of 2 isoenergetic supplements (3.2 kg DM): cereal based concentrate (12% crude protein or CP) or protected soybean meal (SBM: 49% crude protein) (table I) in a reversal design 2 x 2. In trial 1, cows strip-grazed a low fertilized perennial ryegrass pasture (LN: 20 kg N/ha and after each

grazing cycle). In trial 2, two levels of N fertilization were tested (LN and HN: 60 kg N/ha and /cycle) in interaction with supplementation treatments. Pasture was grazed at the same age of regrowth regardless of the N level applied and trials. LN grass was characterized by a low CP content (10–12%) as compared to HN grass (19%) in trial 2 (tables II and IV). On LN sward, soybean meal supplementation increased milk (+2.2 and +1.5 kg/d in trials 1 (fig 1) and 2, respectively) and protein yield (+62 and +44 g/d in trials 1 and 2, respectively). Protein content of milk did not change (tables III and V). On HN sward, SBM also increased milk yield (+1.2 kg/d). Protein yield was increased, but to a lesser extent than on LN sward (+22 g/d). Milk urea content was increased by 15 mg/100 ml with soybean meal supplementation and by 20 mg/100 ml when cow grazed the high fertilized sward. This data suggest that the supply of metabolizable protein by grass may be a limiting factor for high yield dairy cows at grazing even on HN sward. Supplementation with extra bypass nitrogen sources could act directly through an extra amino acid supply to mammary gland, but also could improve feed intake and microbial N synthesis on BN sward. However, it should be emphasized that, despite an increase in milk protein output, conversion of the extra amount of protein remained low (5%). Consequently, protein supplementation largely increased urinary N output.

grazing / dairy cow / complementation / fertilization

INTRODUCTION

Dans les conditions du pâturage, sur prairies bien fertilisées en azote, l'herbe permet de satisfaire les besoins énergétiques et azotés des vaches laitières produisant environ 25 kg de lait par jour au printemps (Holmes, 1989). La complémentation des vaches laitières au pâturage, à base de concentré énergétique, s'avère alors peu efficace (Journet et Demarquilly, 1979 ; Leaver, 1985). Néanmoins, l'utilisation d'une complémentation à base de caséine traitée au formaldéhyde (Flores *et al*, 1979 ; Rogers *et al*, 1980 ; Minson, 1981) a permis d'accroître sensiblement la production de lait et de matières protéiques chez les vaches laitières disposant d'une ration constituée d'herbe verte, riche en matières azotées totales (MAT). De même, les performances animales ont été améliorées par un apport de protéines peu dégradables ou tannées (Penning *et al*, 1988 ; Davison *et al*, 1990).

Sur prairies bien fertilisées, caractérisées par une teneur en MAT élevée mais très dégradable, la valeur azotée réelle de l'herbe pâturée pourrait donc être limitante pour des vaches laitières fortes productrices (Journet, 1982). Cet aspect particulier de la nutrition azotée au pâturage risque de se

poser avec plus d'acuité dans le cas de fertilisations azotées réduites, suite à l'agrandissement des exploitations laitières, la diminution du chargement et/ou à l'apparition de contraintes agri-environnementales, consécutives aux risques de pollution de l'eau par les nitrates.

En effet, si, à même âge de la plante, la réduction de la fertilisation azotée altère peu la digestibilité et la valeur énergétique de l'herbe pâturée (Peyraud *et al*, 1993a), elle entraîne une diminution de la teneur en MAT et en azote soluble de la plante (Reid, 1970 ; Wilman, 1975). De plus, sur prairies peu fertilisées, les niveaux d'ingestion pourraient être réduits par une structure du couvert végétal moins favorable à la préhension de l'herbe par l'animal. De telles modifications dans la composition chimique et la valeur nutritive de l'herbe justifient une nouvelle approche de la complémentation azotée au pâturage.

L'objectif de cette étude conduite dans le bassin de Rennes en 1991 et 1992 a été de comparer l'effet d'une substitution totale et isoénergétique de tourteaux tannés à un concentré pauvre en MAT sur les performances des vaches laitières au pâturage conduit à différents niveaux de fertilisation azotée.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Traitements et schéma expérimentaux

En 1991, l'essai s'est déroulé uniquement sur prairies peu fertilisées (BN : 20 kg N/ha et /cycle). Lors de la seconde année, 2 niveaux de fertilisation ont été introduit (BN : 20 kg N/ha et /cycle et HN : 60 kg N/ha et /cycle) afin d'analyser la réponse à l'apport de protéines de qualité dans 2 situations de pâturage très contrastées.

Les concentrés isoénergétiques utilisés diffèrent essentiellement par leurs teneurs en MAT et en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) qui reflètent la composition des matières premières utilisées lors de leur formulation : céréales, riches en amidon, pour le concentré énergétique (CE) et tourteaux tannés (soja-colza en 1991, soja pur en 1992) pour le concentré protéique (TT). La composition chimique et la valeur nutritive des concentrés utilisés sont présentées au tableau I.

Les 2 essais ont été conduits selon un schéma en inversion (2 concentrés x 2 périodes), répété

au cours de 2 cycles de pâturage. Au cours de l'essai 2, où 2 niveaux de fertilisation ont été comparés, chaque vache a été affectée à un niveau de fertilisation pour toute la durée de l'essai.

Prairies et conduite du pâturage

Les 2 essais se sont déroulés de mai à juillet, au cours des 2^e et 3^e cycles sur prairies de ray grass anglais (RGA, cv Belfort et Fanal). Ces prairies, semées entre 1989 et 1992, ont reçu chaque année depuis l'implantation une fumure de fond de 120, 220 et 100 kg de P, K et Mg respectivement. Lors du 1^{er} cycle, ces parcelles ont été pâturées ou fauchées pour ensilage.

Au cours de la 1^{re} année, l'essai s'est déroulé uniquement sur prairies de RGA peu fertilisées (5 parcelles). Avant le 1^{er} cycle, puis après chaque pâturage, les parcelles ont reçu 20 kg N/ha. La seconde année, ces mêmes parcelles peu fertilisées ont été de nouveau affectées au traitement BN, et ont reçu le même niveau de fertilisation. Dans le même temps, d'autres prairies de RGA (6 parcelles), recevant des apports

Tableau I. Composition chimique et valeur nutritive des concentrés.

Concentré (g/kg MS)	Essai 1		Essai 2	
	Tourteaux tannés (1)	Concentré énergie (2)	Tourteaux tannés (3)	Concentré énergie (2)
Matière organique	918	945	932	945
Matières azotées totales	479	121	502	112
Cellulose brute	90	33	69	29
Matières grasses			26	41
Neutral detergent fibre			195	123
Acid detergent fibre			87	35
Acid detergent lignin			6	6
UFL (/kg MS)	1,13	1,14	1,19	1,15
PDIE (g/kg MS)	324	99	371	105
PDIN (g/kg MS)	375	81	406	78

Composition des concentrés (% brut) : (1) tourteau de soja 80 ; tourteau de colza 20 ; (2) blé 34 ; maïs 35 ; orge 23 ; graisse 1 ; mélasse 3 ; phosphate bicalcique 1 ; carbonate de calcium 1 ; chlorure de sodium 0,5 ; bicarbonate de sodium 1,5 ; (3) tourteau de soja 100.

d'azote de 60 kg par hectare et par cycle, ont été utilisées par un autre troupeau de vaches laitières recevant la même complémentation. Les 2 types de prairies ont été exploitées à même âge des repousses.

La mise à l'herbe des animaux a été réalisée chaque année au début du mois d'avril (8/4/91 et 6/4/92) et la transition s'est déroulée sur 3 sem, avec réduction progressive des apports d'ensilage de maïs et adaptation à la complémentation au pâturage. Pour un niveau de fertilisation donné, les animaux ont pâturé ensemble sur la même parcelle. Le système de pâturage rationné sans fil arrière au sein d'une parcelle pâturée a été appliqué dans les 2 essais et pour les 2 niveaux de fertilisation. Chaque matin, après la traite, les vaches ont eu accès à une nouvelle surface correspondant à une journée de pâturage. Les animaux disposaient d'eau à volonté grâce à un bac d'abreuvement placé dans chaque parcelle.

Complémentation

Le schéma de complémentation individuelle reposait sur un rythme d'apport de 1 kg brut de concentré pour 3 kg de lait au-dessus de 20 kg de lait, avec un maximum de 5 kg brut de concentré pour les animaux les plus productifs (> 35 kg de lait). La quantité de concentré expérimental à distribuer a été calculée individuellement à partir de la production laitière moyenne de chaque animal pendant les 2 sem précédant le début de l'essai. Les quantités de concentré ainsi déterminées ont été maintenues constantes durant toute la durée de l'essai.

Les changements de concentré ont été réalisés en 3 j au début de chaque période. Néanmoins, au moment du changement de cycle, les concentrés n'ont pas été inversés afin d'éviter une même succession des natures de complémentation pour une vache donnée au cours de l'essai. Le concentré expérimental, ainsi que 500 g de concentré minéral vitaminé (30% de minéraux 10/15/7), ont été distribués juste après la traite, à l'auge individuelle, en 2 repas identiques par jour.

Animaux

Chaque année, les animaux ont été mis en lot après une période d'acquisition de référence de 2 sem, en fin de 1^{er} cycle de pâturage. Les critères d'appa-

riement ont été la date de vêlage, les productions de lait et de matières, les taux et le poids vif.

Seize vaches laitières multipares de race Holstein ont été utilisées lors de l'essai 1. Au début de l'essai, avec un stade de lactation moyen de 144 j (\pm 42), leur niveau de production s'élevait en moyenne à 30,1 kg de lait (\pm 5,6) pour un poids vif de 594 kg (\pm 44). Les quantités de concentré distribuées ont été en moyenne de 3,1 (\pm 1,3) kg brut par vache et par jour.

L'expérience réalisée en 1992 (essai 2) a comporté 28 vaches laitières Holstein multipares, respectivement 16 et 12 pour les traitements BN et HN. Le niveau de production moyen des vaches, début mai, a atteint 31,8 (\pm 6,9) kg de lait, pour un stade de lactation de 159 (\pm 45) j et un poids vif de 612 (\pm 47) kg. Ce niveau de production laitière a entraîné des apports de concentré de 3,4 (\pm 1,4) kg brut par jour, identique en moyenne entre les traitements BN et HN.

Mesures

Animaux

La production laitière individuelle a été mesurée à l'aide de compteurs à lait débimétriques (Westfalia) tous les jours lors des 2 traites débutant respectivement à 6 h 30 et 16 h 30.

Les taux butyreux (TB) et protéique (TP) de chaque vache ont été déterminés à partir de chaque échantillon de lait réalisé au cours de 6 (essai 1) et 10 (essai 2) traites consécutives par semaine et recueilli à l'aide de préleveurs automatiques. Les analyses ont été effectuées par analyseur infrarouge (CINTERLIV 35).

La teneur en urée du lait a été dosée à 2 ou 3 reprises par période sur des échantillons de lait de mélange d'un lot de vache recevant le même traitement. Au cours des 15 (essai 1) ou 12 (essai 2) derniers jours de chaque période expérimentale, le lait de mélange issu de la traite du matin a été déprotéiné à l'acide trichloroacétique à 15% puis analysé par la méthode colorimétrique à la diacétyl-monoxyde (Michel, 1971).

Les animaux ont été pesés tous les 14 j au cours de l'essai 1 et toutes les semaines durant l'essai 2. Cette pesée a eu lieu à heure fixe après la traite du matin et avant l'accès à l'auge pour la consommation du concentré.

Les quantités individuelles de concentré offertes et refusées ont été pesées tous les jours.

Prairies

Au pâturage, la biomasse et la hauteur de l'herbe offerte aux animaux ont été mesurées chaque semaine, à jour fixe, sur les surfaces expérimentales destinées à être pâturées au cours des 7 j suivants.

La biomasse présente avant l'entrée des animaux sur la parcelle a été estimée par coupe à la motofaucheuse de 6 bandes de 0,5 x 10 m par hectare, réparties au hasard sur la prairie. Sur chaque bande, après la fauche, 2 à 3 poignées d'herbe sont collectées et regroupées par parcelle pour la détermination de la teneur en matière sèche (MS) par séchage en étuve (48 h, 80°C). La totalité de l'herbe fauchée a ensuite été ramassée et pesée par bandes.

La hauteur d'herbe a été estimée à l'aide d'un herbomètre automatisé (Urban et Caudal, 1990) à plateau en plastique (30 x 30 cm – 4,5 kg/m²) en réalisant environ 150 mesures par hectare. La surface exacte pâturée au cours d'une semaine a été mesurée chaque lundi.

Les données météorologiques (température, pluviométrie) ont été enregistrées quotidiennement sur une station agro-climatique, distante d'environ 1 km des prairies expérimentales.

Analyses chimiques

Une fois par semaine, la teneur en MS de chaque concentré a été déterminée. Simultanément un second échantillon a été réalisé et conservé en l'état. Après regroupement en fin d'essai et broyage (grille de 0,8 mm), il a servi aux analyses de composition chimique (tableau I). Chaque année, les teneurs en matière organique (MO), matières azotées totales (MAT = N x 6,25) et cellulose brute (CB) ont été déterminées. De plus, la 2^e année, les teneurs en matières grasses (MG), et en constituants pariétaux (NDF-ADF-lignine) ont été dosées afin d'estimer la digestibilité de la MO des concentrés selon les équations de Giger-Reverdin *et al* (1990). Les valeurs énergétiques (UFL) et en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) ont ensuite été calculées à partir des équations décrites respectivement par Sauvart *et al* (1987) et Vérité *et al* (1987).

Les échantillons d'herbe hebdomadaires séchés ont permis, après broyage à la grille de 0,8 mm, la détermination des teneurs en MO, MAT, CB, NDF, ADF et lignine. La digestibilité de la MO de l'herbe offerte a été estimée à partir

des valeurs de digestibilité pepsine-cellulase en appliquant l'équation de prédiction publiée par Aufrère et Demarquilly (1989).

Analyses statistiques

Les performances animales moyennes et les quantités individuelles de concentré ingérées ont été calculées sur les valeurs moyennes de chaque période après avoir éliminé les 3 premiers j. Les éventuelles variations de poids vif dues à la nature du concentré n'ont pas été calculées compte tenu de périodes expérimentales d'une durée trop courte pour appréhender ce paramètre. Ces résultats ont été traités par analyse de variance (SAS, 1987). Chaque année, la répétition des traitements au cours de 2 cycles de pâturage nous a conduits dans un premier temps à introduire dans le modèle d'analyse statistique, l'effet du numéro de cycle. L'absence d'interactions significatives entre la nature du concentré et/ou le niveau de fertilisation et le numéro de cycle a permis de simplifier les modèles d'analyse de variance en intégrant au modèle annuel un effet période à 4 niveaux (2 périodes, 2 cycles).

Pour l'essai 1, les performances animales ont été analysés selon le modèle : $Y = Vi + Pj + Ck + e$ avec Vi = effet vache, Pj = effet période, Ck = effet nature du concentré et e = résiduelle. La teneur en urée du lait, dosée sur le lait moyen d'un lot de vaches, a été analysée selon le modèle comprenant les effets lot, période et nature du concentré.

La seconde année, les résultats zootechniques ont été comparés selon un schéma hiérarchisé puisque les animaux sont restés sur un même niveau de fertilisation au cours de l'essai. L'estimation des effets moyens a été obtenue grâce au modèle : $Y = Fi + Vi(Fi) + Pj + Ci + Fi * Ck + Fi * Pj + e$ avec les mêmes facteurs que dans l'essai 1 et l'introduction de l'effet niveau de fertilisation (Fi). La teneur en urée du lait a été analysée selon un modèle identique après avoir remplacé l'effet vache par un effet lot.

De plus, sur prairies peu fertilisées, l'effet de la nature du concentré a été analysée en regroupant les résultats de production des essais 1 et 2. L'analyse de covariance a permis de tenir compte des productions observées avant l'essai et d'intégrer les facteurs année, période d'apport du tourteau tanné.

L'effet du niveau de fertilisation azotée sur la biomasse, la hauteur et la composition chimique de l'herbe offerte a été analysé à partir des mesures réalisées en 1992 après introduction dans le modèle des effets niveau de fertilisation, numéro de cycle et de leur interaction.

RÉSULTATS

Essai 1

En 1991, l'essai a duré 10 sem (du 7/5 au 15/7), avec des périodes expérimentales de 17 à 18 j, au cours des 2 cycles. La température moyenne mensuelle sous abri a varié entre 8,8°C en avril et 18,4°C en juillet. La pluviométrie totale au cours des 4 mois s'est élevée à 162 mm, avec un minimum en juillet (10,5 mm) qui n'a cependant pas perturbé la fin de l'essai. Les conditions météorologiques du printemps ont assuré une croissance régulière de l'herbe et l'essai s'est déroulé sans accidents climatiques notables.

Deux vaches ont dû être éliminées de l'expérience, une en cours d'essai pour des raisons sanitaires (mammite colibacillaire) tandis que l'autre a été exclue au moment de l'analyse des résultats compte tenu d'un comportement nymphomane ayant induit une évolution anormale de la production laitière. L'analyse des résultats a donc été réalisée sur 14 vaches, réparties en 2 lots d'effectifs identiques.

Production et composition chimique de l'herbe

La biomasse et la hauteur de l'herbe à l'entrée des parcelles ont été en moyenne de 3,0 t MS par hectare et 13,0 cm respectivement (tableau II). Ces valeurs ont été plus élevées au cours du cycle 3, en partie du fait de l'accumulation des refus qui n'ont jamais été fauchés. Ainsi, malgré l'accrois-

Tableau II. Productivité des prairies et composition chimique de l'herbe au cours des 2 cycles de pâturage (essai 1).

	Fertilisation basse ETR ^a		
	Cycle 2	Cycle 3	
Biomasse (kg MS/ha)	2685	3226	1023
Hauteur (cm)	11,8	14,2	2,32
Surface (m ² /v/j)	80	100	22,1
MS (% brut)	22,4	22,8	3,27
MO (g/kg MS)	920	924	7,9
MAT (g/kg MS)	120	105	8,5
CB (g/kg MS)	198	238	19,3
NDF (g/kg MS)	419	525	37,7
ADF (g/kg MS)	213	281	25,4
Digestibilité MO ^b	0,84	0,74	0,046
UFL (/kg MS)	1,06	0,93	
PDIE (g/kg MS)	90	88	
PDIN (g/kg MS)	75	67	

^a Écart type résiduel ; ^b d'après l'équation publiée par Aufrère et Demarquilly (1989).

sement de biomasse par hectare, la surface journalière offerte aux animaux a évolué de 80 à 100 m² au cours des 2 cycles, soit un chargement moyen au cours de l'essai de 3,8 vaches par hectare.

La composition chimique de l'herbe offerte se caractérise par une teneur en MAT faible (11,2% MS) qui diminue avec la saison alors que les teneurs en cellulose brute et constituants pariétaux (NDF, ADF) augmentent dans le même temps (tableau II). En conséquence, la digestibilité *in vitro* de la MO, élevée au 2^e cycle, a été réduite de 10 points au cours du 3^e cycle et la valeur énergétique a évolué à 1,06 à 0,93 UFL/kg MS. En supposant une dégradabilité de l'azote dans le rumen de 0,73 (Andrieu et Demarquilly, 1987), la valeur PDIN de l'herbe offerte est inférieure à la valeur PDIE et s'avère être la plus limitante (71 g/kg MS).

Performances animales

Les quantités de concentré expérimental ingérées par vache n'ont pas été différentes entre traitements et ont été en moyenne de 2,7 kg MS (tableau III). Ainsi l'apport d'énergie a été similaire (3,0 UFL/j) mais l'écart journalier d'apport PDI a atteint en moyenne + 600 g de PDIE et + 780 g de PDIN entre les lots TT et CE.

Avec une production laitière moyenne journalière de 25,9 kg de lait, la persistance mensuelle, calculée tous traitements confondus sur la base des performances avant essai, atteint 88%. Le poids vif moyen des animaux s'est accru au cours de 10 sem expérimentales (+ 370 g/j en moyenne par rapport à la période de référence) et a été en moyenne de 610 kg sans aucune différence significative entre les 2 traitements ($P > 0,10$).

Les vaches du traitement TT ont produit 2,2 kg/j de lait de plus ($P < 0,01$) que celles

du traitement CE (tableau III). Cette réponse a été un peu plus élevée lors du 2^e cycle (+ 2,5 kg/j) que lors du cycle 3 (+ 1,9 kg/j). L'évolution moyenne de la production laitière au cours d'un cycle est présentée à la figure 1. Dès le 4^e jour qui suit le changement de nature du concentré, l'écart entre traitements est supérieur à 1 kg de lait et continue à s'accroître ensuite. L'apport de concentré énergétique se traduit alors par une persistance mensuelle moyenne de 84% tandis que celle du traitement TT a atteint 92%.

Les taux butyreux et protéique n'ont pas été modifiés par la nature de la complémentation ($P > 0,10$) et ont été respectivement de 35,9 et 30,9 g/kg. Avec l'apport de tourteaux tannés, la quantité de matières grasses a été supérieure de 9,5% et celle des matières protéiques de 8,2%, soit respectivement + 83 g ($P < 0,01$) et + 62 g ($P < 0,01$) par jour (tableau III).

Tableau III. Effet de la nature de la complémentation sur les performances zootechniques (essai 1).

	Fertilisation basse		ETR ^a	Effet concentré (prob < à)
	Tourteaux tannés	Concentré énergie		
Quantités ingérées (kg MS)				
Concentré	2,66	2,67		
Minéraux	0,44	0,45		
Lait (kg)	27,0	24,8	1,06	0,001
Lait 4% (kg)	25,2	23,1	1,14	0,001
Matières grasses (g)	960	877	53,4	0,001
Matières protéiques (g)	822	760	32,3	0,001
Taux butyreux (g/kg)	36,0	35,8	1,40	NS
Taux protéique (g/kg)	30,8	31,0	0,79	NS
Urée de lait (mg/100 ml)	25,3	10,1	1,54	0,004
Poids vif (kg)	611	608	8,4	NS

^a Écart type résiduel.

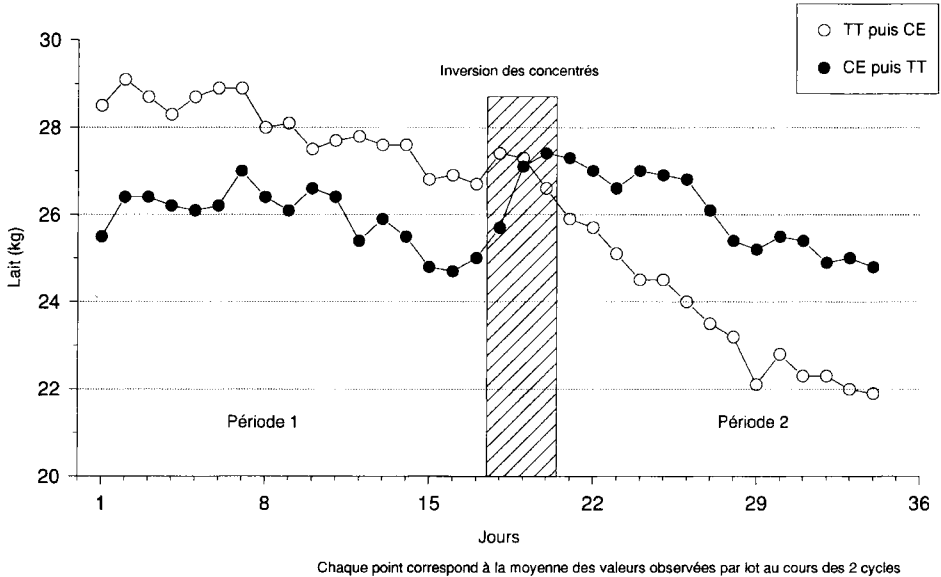


Fig 1. Évolution de la production laitière lors des changements de nature de concentré au pâturage sur prairies de RGA peu fertilisée (essai 1 – 20 kg N/ha et /cycle).

La teneur en urée du lait, mesurée lors de 12 prélèvements durant l'essai, a été systématiquement plus faible avec le concentré énergétique qu'avec le tourteau tanné (10,1 contre 25,3 mg/100 ml, $P < 0,01$).

Essai 2

La seconde expérience s'est déroulée durant 8 sem (4/5 au 28/6) avec des périodes expérimentales identiques de 14 j au cours de chaque cycle. La température moyenne mensuelle a été plus élevée que l'année précédente et a évolué entre 10,2°C en avril et 16,8°C en juin. La pluviométrie cumulée des mois de mai et juin a été supérieure à 70 mm par mois et n'a donc jamais constitué un facteur limitant pour la production d'herbe pendant l'essai.

L'effet des traitements a été analysé à partir des productions de 27 vaches, res-

pectivement 15 et 12 pour les traitements BN et HN. Une vache a été éliminée lors de l'examen des résultats en raison d'une tétanie d'herbage survenue en début d'essai.

Production et composition chimique de l'herbe

À même âge de repousses (28 à 30 j), la biomasse par hectare présente à chaque entrée de parcelle a été inférieure de 500 kg MS ($P < 0,01$) sur les prairies BN, quel que soit le numéro de cycle (tableau IV). Dans ces conditions, l'efficacité marginale de 1 kg d'azote épandu entre 20 et 60 kg/cycle a atteint en moyenne 12,5 kg MS d'herbe. Pour les 2 niveaux de fertilisation, la biomasse au cycle 3 a été supérieure à celle obtenue au cycle précédent (+ 540 kg MS). Cette meilleure production peut, comme l'année précédente, être partiellement imputée à l'accumulation des refus sur les par-

Tableau IV. Effet du niveau de fertilisation azotée sur la productivité des prairies et la composition chimique de l'herbe au cours de 2 cycles de pâturage (essai 2).

	Fertilisation				ETR ^a	Effet fertilisation (prob < à)
	Basse		Haute			
	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 2	Cycle 3		
Biomasse (kg MS/ha)	2436	2988	2954	3482	374,9	0,025
Hauteur (cm)	13,3	14,5	15,6	16,3	1,82	0,055
Surface (m ² /vl/j)	75	118	60	66	10,1	0,001
MS (% brut)	21,9	25,3	17,0	20,7	2,41	0,004
MO (g/kg MS)	904	921	891	906	7,8	0,005
MAT (g/kg MS)	133	109	199	174	9,1	0,001
CB (g/kg MS)	205	249	221	248	13,9	NS
NDF (g/kg MS)	463	532	484	524	30,3	NS
ADF (g/kg MS)	233	271	254	276	18,9	NS
Digestibilité MO ^b	0,79	0,72	0,81	0,75	0,027	0,101
UFL (/kg MS)	0,97	0,87	0,99	0,91		
PDIE (g/kg MS)	87	85	96	98		
PDIN (g/kg MS)	83	70	123	121		

^a Écart type résiduel ; ^b d'après l'équation publiée par Aufrère et Demarquilly (1989).

celles expérimentales au 3^e cycle. Au cours des 2 cycles, la hauteur moyenne à l'entrée des parcelles a toujours été supérieure à 13,0 cm. La réduction de la fertilisation azotée s'est traduite par une diminution de la hauteur du couvert végétal (respectivement 13,9 cm et 16,0 cm pour les traitements BN et HN).

Sur l'ensemble des caractéristiques de composition chimique de l'herbe analysées au cours de cet essai, aucune interaction entre le niveau de fertilisation et le numéro de cycle ne s'est avérée significative ($P > 0,10$).

La réduction de la fertilisation s'est traduite essentiellement par une faible teneur en MAT de l'herbe offerte, respectivement 13,3 et 10,9% aux cycles 2 et 3 (tableau IV). Sur le traitement HN, l'herbe a une teneur en MAT plus élevée, moins variable

entre cycle et proche de 20% de MAT ($P < 0,01$).

Au cycle 3, l'herbe offerte a été caractérisée par des teneurs en CB, NDF et ADF plus élevées qu'au cycle 2 ($P > 0,01$) tandis que la digestibilité *in vitro* de la MO a diminué de 7 points entre les 2 cycles, à la fois sur les traitements BN et HN ($P > 0,01$).

La valeur énergétique calculée de l'herbe offerte a donc diminué avec l'avancement de la saison de pâturage ($-0,09$ UFL/kg MS entre les cycles 2 et 3) sans écarts importants entre niveaux de fertilisation. La valeur PDIE, inférieure d'environ 10 g/kg MS en moyenne sur le traitement BN par rapport à HN, a peu varié entre cycles. La valeur PDIN, plus faible que la valeur PDIE sur le traitement BN (76 g/kg MS en moyenne), a été alors la plus limitante contrairement au traitement HN (122 g/kg MS).

Performances animales

Les quantités moyennes de concentré expérimental ingérées ont été respectivement de 2,9 et 2,8 kg MS pour les traitements CE et TT (tableau V). Compte tenu des valeurs nutritives calculées, le supplément d'apport PDI avec le traitement TT a été d'environ 740 g de PDIE et 910 g de PDIN tandis que les apports UFL ont été similaires entre traitements (3,3 UFL/j).

La persistance mensuelle moyenne, calculée sur toute la durée de l'essai, a été de 85%, pour une production laitière moyenne journalière de 25,6 kg de lait avec un taux butyreux de 35,8 g/kg et un taux protéique de 30,5 g/kg.

Aucune interaction significative entre la nature de la complémentation et le niveau de fertilisation n'a été mise en évidence, quel que soit le critère zootechnique étudié.

Le niveau de fertilisation azotée (BN vs HN) n'a pas eu d'influence significative ($P > 0,10$) sur les paramètres de production et de qualité du lait (tableau IV). Seul le poids vif a été plus élevé sur les prairies BN que sur les prairies HN (+ 17 kg, $P < 0,02$). Dans nos conditions expérimentales, l'interprétation de cet écart paraît difficile, compte tenu des variations journalières de contenu digestif importantes et non maîtrisables au pâturage.

La complémentation protéique (TT vs CE) a en moyenne augmenté significativement ($P < 0,01$) la production laitière (+ 1,3 kg), la production de matières grasses (+ 53 g) et protéiques (+35 g). Cet effet n'a pas différé significativement avec le numéro de cycle ou le niveau de fertilisation. Cependant, il a été légèrement plus élevé sur les prairies BN que HN en ce qui concerne les matières protéiques (+ 44 g vs + 26 g, $P > 0,10$).

La teneur en urée du lait (11 prélèvements / traitement) a été significativement influencée à la fois par la nature de la

complémentation et le niveau de fertilisation. Les augmentations des teneurs en urée entraînées par un accroissement des apports azotés via le niveau de fertilisation ou la nature du concentré ont été de même ampleur, respectivement + 20 mg et + 14 mg/100 ml de lait ($P < 0,001$). De plus ces effets semblent additifs de sorte que les teneurs observées entre les traitements extrêmes BN/CE et HN/TT ont été respectivement de 11,8 mg et 46,8 mg/100 ml de lait.

L'analyse regroupée des 2 années expérimentales sur prairies BN montre que la réponse à l'apport de tourteau est d'autant plus importante que le niveau de production des animaux est plus élevé (+ 0,1 kg de lait, +4,3 g de matières grasses et + 1,9 g de protéines par kg de lait en plus au début de l'essai ($P < 0,01$). Cependant, compte tenu du schéma de distribution du concentré retenu, directement fonction du niveau de production des animaux, l'efficacité du tourteau tanné exprimée par kg de concentré ne s'est pas améliorée avec le niveau de production des animaux.

DISCUSSION

Effet de la complémentation protéique au pâturage

L'utilisation de tourteaux tannés au pâturage en remplacement total et isoénergétique d'un concentré à base de céréales et pauvre en protéines a entraîné une augmentation sensible de la production de lait et de matières sans modifications des taux butyreux et protéique. Avec des doses élevées de tourteaux (2,8 kg MS ingérés), chez des vaches laitières produisant 31,2 kg de lait en début d'essai, cet accroissement de production a atteint en moyenne 1,7 kg de lait, 63 g de matières grasses et 44 g de protéines par vache et par jour. La teneur en

Tableau V. Effet du niveau de fertilisation azotée et de la nature de la complémentation sur les performances zootechniques (essai 2).

	Fertilisation		Haute Complémentation Tourteaux Concentré tannés énergie	ETR ^a fertilisation (prob < à)	ETR ^a	Effet concentré (prob < à)	Effet fert x concentré (prob < à)
	Basse	Haute					
	Complémentation Tourteaux Concentré tannés énergie	Complémentation Tourteaux Concentré tannés énergie					
Quantités ingérées (kg MS)							
Concentré	2,76	2,84	2,85				
Minéraux	0,41	0,40	0,42				
Lait (kg)	27,5	26,0	27,6	4,92	1,29	0,001	NS
Lait 4% (kg)	25,9	24,5	25,4	4,29	1,10	0,001	NS
Matières grasses (g)	993	943	961	252,0	44,1	0,001	NS
Matières protéiques (g)	838	794	825	113,3	36,3	0,001	NS
Taux butyreux (g/kg)	36,2	36,4	35,6	8,29	1,22	NS	0,087
Taux protéique (g/kg)	30,6	30,8	30,2	2,29	0,64	0,111	NS
Urée du lait (mg/100 ml)	27,1	11,8	46,8	0,87	1,33	0,001	NS
Poids vif (kg)	621	622	604	35,1	8,2	NS	NS

^a Écart type résiduel.

urée du lait a été accrue à la fois par l'apport de tourteaux et par le niveau de fertilisation azotée.

Ces réponses positives à l'apport de protéines tannées ont été répétables chaque année au cours des 2 cycles de pâturage de printemps et surtout ont été, au cours du 2^e essai, peu dépendantes du niveau de fertilisation azoté appliqué sur les prairies expérimentales. Seule la réponse de sécrétion de protéines du lait à l'apport de tourteau tanné a tendance à être plus importante sur prairies BN que HN.

Les résultats obtenus lors d'essais similaires de complémentation protéique au pâturage sont plus variables et semblent dépendre à la fois du niveau de production des animaux (Jourmet, 1982) ou de la teneur en MAT de l'herbe offerte, mais aussi de la nature des concentrés utilisés (Beever, 1982), notamment de leur dégradabilité dans le rumen.

Lors de travaux déjà anciens, sur des prairies dont la teneur en MAT de l'herbe n'excédait pas 12%, Huber et Boman (1966) ont montré l'intérêt d'un enrichissement d'un concentré à base de maïs grain avec du tourteau de soja normal. La production laitière s'était alors accrue de 1,6 kg de lait sans modification du taux protéique.

En revanche, sur prairies de Graminées bien fertilisées en azote, avec des teneurs en MAT de l'herbe supérieure à 20%, l'utilisation de concentrés riches en protéines dégradables (Castle *et al*, 1979) ou composés d'une faible proportion de tourteaux non tannées (Gordon et Merron, 1978 ; Jourmet, 1982) ne modifie généralement pas les performances animales par rapport à un concentré isoénergétique pauvre en azote. Plus récemment, malgré des quantités importantes de concentré distribuées (7,0 kg/jour), Valentine et Barsch (1989) n'ont pas mis en évidence d'effet favorable du lupin en remplacement d'une complémentation à base de céréales.

À l'inverse, l'intérêt d'un apport de protéines tannées au pâturage a été mis en évidence, même dans le cas d'une herbe riche en MAT, grâce à l'utilisation de complémentation à base de caséine protégée de la dégradation ruminale (Stobbs *et al*, 1977 ; Rogers *et al*, 1980). Sur prairies d'association ray-grass Anglais et trèfle blanc (22% MAT), Hamilton (1986) a, lui aussi, confirmé l'intérêt d'une substitution de 0,5 kg de caséine traitée à une quantité équivalente de blé. Dans ces conditions, les productions ont été améliorées de 1,7 kg de lait et 74 g de protéines tandis que l'utilisation de caséine non traitée, donc dégradable, n'a pas modifié les performances animales. Ces travaux ont été confirmés par l'emploi de protéines à faible dégradabilité dans le rumen telles que la farine de poisson, le corn gluten meal (Davison *et al*, 1990 ; Polan *et al*, 1991) ou de tourteaux tannés (Hamilton *et al*, 1992) qui ont toujours entraîné un accroissement significatif de la production de lait (1 à 2 kg de lait par jour) et de matières protéiques (40 à 50 g/j).

Origine nutritionnelle de la réponse à la complémentation protéique

Effet sur l'alimentation azotée

Dans le cas de fertilisations azotées importantes, les régimes à base d'herbe se caractérisent par un flux d'azote intestinal mesuré souvent inférieur aux quantités d'azote ingérées par l'animal (Van Vuuren *et al*, 1992 ; Peyraud *et al*, 1993a). Ainsi, malgré des synthèses microbiennes élevées avec l'herbe (Peyraud, 1994), permises à la fois par la digestibilité élevée et la quantité d'azote dégradable ingérée, l'apport de tourteaux tannés induit sans doute un accroissement du flux de protéines alimentaires intestinal. Cet apport supplémentaire d'acides aminés a pu être partiellement valorisé par les vaches laitières d'un niveau de

production en moyenne supérieur à 25 kg de lait.

Sur les prairies HN, l'apport de protéines tannées s'est traduit en moyenne par un apport PDI supplémentaire d'environ 740 g/jour, soit un rendement marginal faible de 160 g de lait et de 3,5 g de protéines pour 100 g de PDI ingérées en plus.

La réduction de la fertilisation azotée entraîne une baisse importante de la teneur en MAT de l'herbe offerte, sans modification sensible de la dégradabilité de l'azote du fourrage (Le Goffe *et al*, 1989 ; Peyraud *et al*, données non publiées). Si l'on admet un niveau moyen d'ingestion d'herbe de 16 kg de MS, la teneur en MAT du régime des vaches laitières recevant le traitement CE est restée inférieure à 12%. La teneur en urée du lait, observée lors des 2 essais (10 à 12 mg/100 ml) avec cette complémentation pauvre en protéines confirme cette faible teneur en MAT du régime ingéré (Journet *et al*, 1975). Dans ce cas, la fourniture d'azote dégradable par la ration pourrait devenir réellement limitante. Le déficit en azote dégradable – (PDIN-PDIE)/UFL – atteint respectivement –13 et –18 g pour l'essai 1 et 2, valeurs inférieures au seuil de déficit tolérable proposé par Vérité et Peyraud (1989).

Si le remplacement du concentré énergétique par du tourteau tanné a bien sûr amélioré la nutrition azotée de l'animal, il a vraisemblablement aussi amélioré le fonctionnement du rumen et les synthèses microbiennes. Ces dernières ont pu être favorisées d'une part grâce au recyclage de l'urée issue de l'azote fourni par le tourteau tanné et d'autre part grâce à la teneur accrue en glucides solubles de l'herbe peu fertilisée (Peyraud, communication personnelle). L'apport de tourteau tanné a eu pour double conséquence, chez les animaux au pâturage sur prairies peu fertilisées, de rendre positif le bilan PDI calculé et de corriger le déficit en azote dégradable du régime.

Le rendement marginal obtenu sur prairies peu fertilisées (10,3 g et 6,1 g de protéines du lait pour 100 g de PDI respectivement en 1991 et 1992) est plus élevé que celui obtenu sur les prairies HN. Ceci traduit probablement un niveau plus faible de satisfaction des besoins PDI des vaches laitières, recevant la complémentation énergétique avec l'herbe pauvre en MAT. Le potentiel de réponse serait alors meilleur dans cette situation de déficit (Vérité et Peyraud, 1989). Mais des mesures précises de quantités ingérées et de flux d'azote au niveau de l'intestin seront nécessaires pour conclure sur cette hypothèse au pâturage.

Effet sur l'ingestion d'herbe

En comparaison avec des animaux ne recevant pas de concentré, la complémentation des vaches laitières au pâturage entraîne généralement une réduction des quantités d'herbe ingérées (Journet, 1981). Mais les travaux rapportés dans la bibliographie reposent souvent sur l'utilisation de concentrés énergétiques composés essentiellement de céréales ou pulpes déshydratées, donc pauvres en MAT (Meijs et Hoekstra, 1984 ; Stakelum, 1986 ; Arriaga-Jordan et Holmes, 1986). L'utilisation d'une complémentation à base de protéines tannées pourrait ne pas induire les mêmes effets.

Lors d'essais visant à mesurer l'effet d'un apport de 2 kg de tourteaux sur les quantités ingérées au pâturage par rapport à celles observées en l'absence de toute complémentation, Peyraud *et al* (1993b) et Delagarde *et al* (1994) ont montré que le tourteau n'influa pas sur l'ingestion d'herbe (17 à 20% MAT) et pouvait même la stimuler dans le cas de prairies peu ou pas fertilisées (10 à 12% MAT). Avec une herbe offerte très pauvre en azote, cet effet stimulant d'un concentré riche en MAT sur l'ingestion de fourrages a déjà été rapporté par différents auteurs lors d'études réalisées sur bouvillons (Caton *et al*, 1989 ; Hannah *et al*,

1991). De même, sur régimes à base d'ensilage de maïs (Journet *et al*, 1983), l'amélioration du niveau et de la qualité des apports azotés a permis d'accroître les quantités ingérées et donc d'induire des apports nutritifs totaux plus élevés.

Il est donc possible que les vaches laitières réagissent différemment en termes d'ingestion d'herbe selon la nature de la complémentation distribuée au pâturage. La réponse de production laitière et de matières secrétées à l'apport de tourteaux tannés pourrait ainsi être partiellement attribuée à un effet indirect de la nature des concentrés sur les quantités totales de matière organique ingérées.

Conséquences sur les rejets azotés

L'apport de tourteaux tannés se traduit en moyenne entre les 2 essais par une augmentation des quantités d'azote ingérées par le concentré de 150 à 175 g par vache et par jour. Compte tenu des rendements marginaux en protéines du lait observés au cours de ces expériences, qui restent modérés notamment sur les prairies HN, le bilan azoté de l'animal entraînerait un accroissement des rejets azotés de 140 à 170 g/j, soit en moyenne 95% de l'azote ingéré en plus. À l'échelle des 2 cycles de pâturage de printemps, avec des chargements différents induits par les niveaux de fertilisation appliqués, le nombre de journées de pâturage par hectare réalisées a été respectivement de 220 et 320 j sur les prairies BN et HN. L'utilisation d'une complémentation à base de tourteaux tannés provoquerait alors dans cette situation une restitution d'azote supplémentaire dans les déjections de 33 et 55 kg par hectare.

CONCLUSION

L'utilisation de protéines de qualité en quantités importantes (3,2 kg MS/vache/j) dans la

complémentation des vaches laitières au pâturage a permis d'améliorer les performances zootechniques. À ce niveau d'apport, le rendement marginal reste médiocre, avec pour conséquence un accroissement substantiel des rejets azotés. Ainsi, le niveau d'apport optimum doit être précisé. Ce dernier pourrait d'ailleurs être différent selon la teneur en MAT de l'herbe offerte et donc selon le niveau de fertilisation appliqué au pâturage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier A Hoden, qui a assuré la mise en place du 1^{er} essai, ainsi que l'ensemble du personnel du domaine de Méjusseume (INRA, Saint-Gilles) pour sa participation efficace à la réalisation des mesures.

RÉFÉRENCES

- Andrieu J, Demarquilly C (1987) Valeur nutritive des fourrages : tables et prévision. *Bull Tech CRZV Theix INRA* 70, 61-73
- Arriaga-Jordan CM, Holmes W (1986) The effect of concentrate supplementation on high-yielding dairy cows under 2 systems of grazing. *J Agric Sci Camb* 107, 453-461
- Aufrère J, Demarquilly C (1989) Predicting organic matter digestibility of forage by 2 pepsin-cellulase methods. XVI Congrès international des herbages (AFPF, ed), 4-11 octobre, Nice, France, 877-878
- Beever DE (1982) Protein utilisation from pasture. In : *Forage protein conservation and utilisation: Proceedings of a seminar in the EEC Programme of Coordination of Research on Plant Protein* (TW Griffiths, MF Maguire, eds), Dublin, Ireland, 99-120
- Castle ME, Watson JN, Leaver JD (1979) A comparison between barley and groundnut as supplements for dairy cows at pasture. *Grass For Sci* 34, 197-201
- Caton JS, Freeman AS, Galyean ML (1989) Influence of protein supplementation on forage intake, *in situ* forage disappearance, ruminal fermentation and digesta passage rates in steers grazing dormant blue grama rangeland. *J Anim Sci* 66, 2262-2271
- Davison TM, Jarrett WD, Clark R (1990) Effect of level of meat-and-bone meal and pasture type on milk yield and composition of cows grazing tropical pastures. *Aust J Exp Agric* 30, 451-455

- Delagarde R, Peyraud JL, Delaby L (1994) Effects of nitrogen fertilisation and soyabean meal supplementation on herbage intake by grazing dairy cows. IX Journées de recherches sur l'alimentation et la nutrition des herbivores. 16 et 17 mars Clermont-Ferrand/Theix. *Ann Zootech* 43 (suppl 1), 40s-41s
- Flores JF, Stobbs TH, Minson DJ (1979) The influence of the legume *Leucaena leucocephala* and formalcasein on the production and composition of milk from grazing cows. *J Agric Sci Camb* 92, 351-357
- Giger-Reverdin S, Aufrère J, Sauvant D, Demarquilly C, Vermorel M, Pochet S (1990) Prédiction de la valeur énergétique des aliments composés pour ruminants. *INRA Prod Anim* 3, 181-188
- Gordon FJ, Merron P (1978) The effect of protein content of supplements given to dairy cows at pasture under low rainfall conditions. *Rec Agric Res* 26, 89-91
- Hamilton BA (1986) The response of grazing dairy cows to protein supplements. In : *Biennial Research Report 1984-1986* (DK O'Toole, DR Baigent, eds), North Coast Agricultural Institute, Wollongbar, Australia, 18-19
- Hamilton BA, Ashes JR, Carmichael AW (1992) Effect of formaldehyde-treated sunflower meal on the milk production of grazing dairy cows. *Aust J Agric Res* 43, 379-387
- Hannah SM, Cochran RC, Vanzant ES, Harmon DL (1991) Influence of protein supplementation on site and extent of digestion forage intake and nutrient flow characteristics in steers consuming dormant bluestem-range forage. *J Anim Sci* 69, 2624-2633
- Holmes W (1989) The utilization of pasture. In : *Ruminant nutrition. Recommended allowance and feed table* (R Jarrige, ed), INRA, John Libbey, Paris et Londres, 181-192
- Huber JT, Boman RL (1966) Effect of grain level and protein content of the grain for grazing cows on milk composition and yield, and certain blood and rumen constituents. *J Dairy Sci* 49, 395-398
- Journet M (1981) Conduite au pâturage des troupeaux laitiers à assez haut niveau de production. *Fourrages* 85, 95-112
- Journet M (1982) Complémentation azotée des vaches laitières au pâturage. In : *Forum des fourrages de l'Ouest*, 23 et 24 novembre, Rennes, 245-248
- Journet M, Demarquilly C (1979) Grazing. In : *Feeding strategy for the high yielding cow* (WH Broster, H Swan, eds), 295-321
- Journet M, Vérité R, Vignon B (1975) L'azote non protéique du lait : facteurs de variation. *Lait* 543, 212-223
- Journet M, Faverdin P, Rémond B, Vérité R (1983) Niveau et qualité des apports azotés en début de lactation. *Bull Tech CRZV Theix INRA* 51, 7-17
- Le Goffe P, Vérité R, Lemaire G (1989) Influence du niveau de fertilisation azotée sur la dégradabilité de l'azote de la fétuque élevée récoltée en vert. XVI Congrès international des herbages (AFPF, ed), 4-11 octobre, Nice, France, 911-912
- Leaver JD (1985) Milk production from grazed temperate grassland. *J Dairy Res* 52, 313-344
- Meijs JAC, Hoekstra JA (1984) Concentrate supplementation of grazing dairy cows. I. Effect of concentrate intake and herbage allowance on herbage intake. *Grass For Sci* 39, 59-66
- Michel MC (1971) Analyse quantitative de quelques substances azotées et glucidiques en milieu biologique. Essai de rationalisation. Thèse doc, univ Clermont II, Clermont-Ferrand, France
- Minson DJ (1981) The effects of feeding protected and unprotected casein on the milk production of cows grazing rye-grass. *J Agric Sci Camb* 96, 239-241
- Penning PD, Orr RJ, Treacher TT (1988) Responses of lactating ewes, offered fresh herbage indoors and when grazing, to supplements containing differing protein concentrations. *Anim Prod* 46, 403-415
- Peyraud JL (1994) Comparaison de la digestion du trèfle blanc et des Graminées prairiales chez la vache laitière. *Fourrages* 135, 465-473
- Peyraud JL, Astigarraga L, Faverdin P (1993a) The digestion of fresh perennial ryegrass fertilized at 2 levels of nitrogen in lactating dairy cows. *Ann Zootech* 42, 138
- Peyraud JL, Astigarraga L, Faverdin P, Delaby L, Le Bars M (1993b) Effect of level of nitrogen fertilization and protein supplementation on herbage utilization by grazing dairy cows. I. Herbage intake and feeding behaviour. VIII. Journées de recherches sur l'alimentation et la nutrition des Herbivores, 24 et 25 mars, INA Paris-Grignon. *Ann Zootech* 43, 291
- Polan CE, Garrett JL, Novaes LP, Stieve DE (1991) Milk production response to rumen degradable and undegradable protein fed to grazing cows (abstr). *J Dairy Sci* 74 (suppl 1), 306
- Reid D (1970) The effects of a wide range of nitrogen application rates on the yields from a perennial ryegrass sward with and without white clover. *J Agric Sci Camb* 74, 227-240
- Rogers GL, Porter RHD, Clarke T, Stewart JA (1980) Effect of protected casein supplements on pasture intake, milk yield and composition of cows in early lactation. *Aust J Agric Res* 31, 1147-1152
- SAS Institute, Inc (1987) *SAS/STAT Guide for Personal Computer*, Version 6 Edition, Cary, NC, USA
- Sauvant D, Aufrère J, Michalet-Doreau B, Giger S, Chaptout P (1987) Valeur nutritive des aliments concentrés simples : tables et prédiction. *Bull Tech CRZV Theix INRA* 70, 75-89
- Stakelum G (1986) Herbage intake of grazing dairy cows. II. Effect of herbage allowance, herbage mass and concentrate feeding on intake of cows grazing primary spring grass. *Irish J Agric Res* 25, 41-51
- Stobbs TH, Minson DJ, McLeod MN (1977) The response of dairy cows grazing a nitrogen fertilized

- grass pasture to a supplement of protected casein. *J Agric Sci Camb* 89, 137-141
- Urban B, Caudal JP (1990) Herbomètre automatisé. In : *Les journées de la mesure. Électronique, informatique, automatique* (INRA dépt Informatique, ed), 3 et 4 octobre, Port-Leucate, II, 57-59
- Valentine SC, Bartsch BD (1989) Milk production by dairy cows fed hammermilled lupin grain, hammermilled oaten grain or whole oaten grain as supplements to pasture. *Aust J Exp Agric* 29, 309-313
- Van Vuuren AM, Krol-Kramer F, Van Der Lee RA, Corbijn H (1992) Protein digestion and intestinal amino acids in dairy cows fed fresh *Lolium perenne* with different nitrogen contents. *J Dairy Sci* 75, 2215-2225
- Vérité R, Peyraud JL (1989) Protein: the PDI system. In : *Ruminant nutrition. Recommended allowance and feed tables* (R Jarrige, ed), INRA, John Libbey, Paris et Londres, 33-47
- Vérité R, Michalet-Doreau B, Chapoutot P, Peyraud JL, Poncet C (1987) Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI). *Bull Tech CRZV Theix INRA* 70, 19-34
- Wilman D (1975) Nitrogen and Italian rye-grass. II. Growth up to 14 weeks: nitrogen, phosphorus and potassium content and yield. *J Br Grassld Soc* 30, 243-249