

Effet de l'apport de D,L méthionine, protégée de sa dégradation dans le rumen, aux vaches laitières pendant le tout début de la lactation

B. Rémond ¹

avec la collaboration technique de J. Bony ², J.P. Garel ³ et A. Ollier ¹

¹ INRA, Laboratoire de la lactation, centre de recherches de Clermont-Ferrand, Theix, 63122 Saint-Genès-Champagnelle

² Domaine expérimental de l'INRA, Le Roc, 63210 Orcival

³ Domaine expérimental de l'INRA, 15190 Marcenat, France

(reçu le 13 mars 1989, accepté le 24 mai 1989)

Résumé — Dans 3 essais qui se sont déroulés pendant les 6 premières semaines de la lactation, l'effet de la complémentation des rations de vaches laitières (105 au total) avec de la D,L méthionine protégée a été étudié. Dans chaque essai, les vaches ont été réparties en 2 lots dont l'un a été complétement avec de la méthionine, distribuée en quantité décroissante entre chacune des 3 périodes successives de 2 semaines : respectivement 20, 12 et 6 g dans les essais 1 et 2, et, en moyenne, 18, 10 et 5 g dans l'essai 3, où les quantités apportées étaient modulées individuellement selon la production laitière attendue. La ration de base était constituée d'ensilage d'herbe distribué à volonté et de foin distribué en quantité limitée dans les essais 1 et 2, et d'ensilage de maïs, en quantité limitée dans l'essai 3. Dans les 3 essais, l'aliment concentré a été offert en quantité limitée ajustée, pour chaque vache, à sa production laitière attendue. L'apport de D,L méthionine protégée n'a modifié, en moyenne, au cours des 6 semaines expérimentales, ni la quantité de lait produite ou sa composition, ni les quantités d'aliments ingérées (essais 1 et 2), ni les variations de poids vif. En revanche, il a accru la quantité de lait produite au cours des semaines 1 et 2, de façon respectivement hautement significative (2,6 kg/j) et significative (1,2 kg/j).

vache laitière — méthionine protégée — début de lactation — production laitière

Summary — **Effect of rumen-protected methionine supplementation in the diet of dairy cows in early lactation.** The effect of feeding supplementary protected D,L methionine to dairy cows (105 in total) was studied in 3 trials carried out during the first 6 weeks of lactation. In each trial, cows were divided into 2 groups, one of which was supplemented with methionine supplied in decreasing quantities between each of the 3 successive periods of 2 weeks : 20 g, 12 g and 6 g in trials 1 and 2 respectively and, on an average, 18 g, 10 g and 5 g in trial 3 where the quantities offered were individually adjusted to the expected milk production. The basal diet comprised grass silage fed ad libitum and hay fed in limited amounts in trials 1 and 2 and maize silage in limited amounts in trial 3. In the 3 trials, concentrate was offered in limited quantities adjusted for each cow to its expected milk production. The supply of protected D,L methionine on average did not modify milk production, milk composition, feed intake (trials 1 and 2) or liveweight variations during the 6 experimental weeks. Nevertheless, it increased milk production during weeks 1 and 2, highly significantly (2.6 kg/d) or significantly (1.2 kg/d), respectively.

dairy cow — protected methionine — early lactation — milk production

INTRODUCTION

Dans une étude où ils comparaient des vaches cétosiques à des vaches qui ne l'étaient pas, Mac Carthy *et al.* (1968) ont montré que les cétooses des vaches laitières pouvaient provenir d'une carence en méthionine. Par la suite, de nombreux essais ont visé à montrer l'intérêt de l'addition de cet acide aminé au régime des vaches laitières dans la prévention des cétooses puis dans l'accroissement des performances des animaux. Leurs auteurs y étaient incités par des indices (composition comparée en acides aminés des contenus du duodénum et du lait; rapport des quantités d'acides aminés excrétés dans le lait aux quantités prélevées dans le sang par la mamelle) (Champredon & Pion, 1978), suggérant que la méthionine était le premier acide aminé limitant pour la production laitière. Dans les années 70, les expérimentations ont presque toujours été conduites avec de la D,L méthionine libre, ou, beaucoup plus fréquemment, avec un de ses analogues hydroxylés (MHA, en anglais). Les effets sur la production laitière ont été très variables : quand ils ont été positifs, ils ont en général porté sur la fraction lipidique (quantité de lipides sécrétée et taux butyreux) (Polan *et al.*, 1970; Rémond *et al.*, 1971; Chandler *et al.*, 1976; Lundquist *et al.*, 1983; etc.), mais aussi, beaucoup moins fréquemment toutefois, sur la quantité de lait produite (Bishop, 1971; Stanley & Toma, 1977; Jenny *et al.*, 1980). Ces effets ont cependant été assez souvent nuls (Burgos & Olson, 1970; Wallenius & Whitchurch, 1975) et parfois négatifs (Polan *et al.*, 1970; Laurent & Vignon, 1972). Une action sur la fraction azotée a été peu souvent observée. Cette inconstance a été partiellement attribuée : 1) à la dégradabilité élevée dans le rumen de la D,L méthionine ou de son analogue hydroxylé (Chalupa,

1975). Aussi, à partir du début des années 80, période pendant laquelle ont été conduits les essais rapportés ci-après, un nombre croissant d'essais ont-ils été réalisés avec des formes de la méthionine protégées de la dégradation dans le rumen; 2) à l'hétérogénéité des conditions expérimentales. Il a pu sembler que le début de la lactation était une période plus propice que les autres à la manifestation d'un effet favorable de la complémentation en méthionine (Lundquist *et al.*, 1982).

Les résultats de 3 essais dans lesquels de la D,L méthionine protégée a été ajoutée à la ration des vaches laitières au cours des toutes premières semaines de la lactation sont rapportés ci-dessous.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Schéma expérimental et animaux

Cent cinq vaches multipares, presque toutes de type Pie Noir, ont été utilisées au cours des 6 premières semaines de lactation dans 3 essais : 44 à Orcival (essai 1), 32 à Marcenat (essai 2) et 29 à Theix (essai 3). Elles ont vêlé entre la fin octobre et la fin janvier, et leur numéro moyen de lactation était de 3. Dans chaque essai, elles ont été réparties avant le vêlage en 2 lots, destinés à recevoir l'un le complément enrichi en D,L méthionine (lot méthionine) et l'autre le complément témoin (lot témoin). Les lots ont été constitués d'après la date prévue du vêlage, le numéro de lactation, le poids vif et la production laitière pendant le début de la lactation antérieure à la lactation expérimentale. Dans les essais conduits à Orcival et à Marcenat, les lots ainsi constitués ont été eux-mêmes subdivisés en 2 sous-lots, selon un schéma factoriel 2 x 2, dont l'un devait recevoir du monopropylène glycol (200 g/animal/jour). Les résultats concernant

l'effet de cet additif sont publiés dans un autre article (Rémond *et al.*, 1984).

Alimentation

Dans les 3 essais, la somme des aliments concentrés distribués aux animaux (aliment concentré de production dans les essais 1 et 2, aliment concentré riche en énergie + tourteau de soja dans l'essai 3, aliment enrichi en MPG ou aliment témoin dans les essais 1 et 2, aliment enrichi en D,L méthionine ou aliment témoin dans les 3 essais) a augmenté de 1 kg tous les 3 jours, jusqu'à ce que les besoins correspondant à la production laitière attendue soient satisfaits. Celle-ci a été calculée d'après la production au cours de la lactation précédente. La composition moyenne de l'aliment concentré reçu par les animaux est portée dans le Tableau I. Dans les essais effectués à Orcival

et à Marçenat, la ration de base était constituée de foin (respectivement 13,2 et 15,3% de matières azotées totales (N x 6,25) dans la matière sèche), distribué en quantité limitée (respectivement 2 et 16% de la matière sèche ingérée au cours des 6 premières semaines), et d'ensilage de trèfle violet (22% de matière sèche, 16,7% de MAT et 26% de cellulose brute, 63% de la matière sèche ingérée) ou de ray grass anglais (23% de matière sèche, 14,2% de MAT, 47% de la matière sèche ingérée) distribués à volonté. Dans l'essai conduit à Theix, le fourrage était de l'ensilage de maïs (36% de matière sèche et 8,1% de MAT dans la MS). Il a été distribué en quantité limitée proche, pour chaque animal, de sa capacité d'ingestion. Celle-ci a été calculée d'après leur poids vif, leur production laitière attendue et la semaine de lactation.

La D,L méthionine protégée par un enrobant était incluse à raison de 2% dans un aliment concentré de composition voisine de celle de l'aliment concentré principal de la ration. Elle a été distribuée en quantité décroissante : 20, 12 et 6 g/j au cours des 3 périodes successives de

Tableau I. Composition de la fraction concentrée de la ration : teneur en matières azotées totales et proportion ¹ des différents ingrédients.

	Essai		
	1	2	3
Teneur en matières azotées totales (N x 6,25% MS)	16,2	22,9	32,3
Ingrédients (p.100)			
Orge	29,3	16,9	16,9
Maïs	24,2	16,7	20,1
Pulpes de betteraves	28,7	23,2	21,5
Luzerne déshydratée	—	—	6,7
Tourteau de soja	8,6	28,4	29,9
Tourteau de colza toasté	—	7,3	—
Urée	0,3	—	2,8
Mélasses	4,6	3,6	—
Monopropylène glycol ²	1,4	1,5	—
Minéraux	2,9	2,3	2,1

¹ Proportion moyenne au cours des 6 premières semaines de la lactation, et pour l'ensemble des vaches de chaque essai, calculée d'après les quantités ingérées des différents aliments concentrés (voir Matériel et Méthodes, Alimentation) et leur composition. Les proportions de la méthionine et de l'enrobant, qui sont d'environ 0,1%, n'ont pas été portées sur le Tableau.

² Administré à la moitié des vaches dans les essais 1 et 2.

2 semaines après le vêlage, dans les essais menés à Orcival et à Marcenat. A Theix, ces quantités ont été modulées : 24, 14 et 8 g/j (2 vaches) ou 16, 8 et 4 g/j (6 vaches) selon que la production laitière attendue était > ou < 30 kg/j, et les animaux en ont reçu 5 g/j pendant les 2 dernières semaines avant le vêlage. Dans les 3 essais, les animaux des lots témoins ont reçu la même quantité d'enrobant que les animaux des lots complémentés en méthionine. Ces aliments particuliers ont été préparés par la société Rhône-Poulenc Animal Nutrition.

Les aliments concentrés ont été distribués 2 fois par jour, sauf à Orcival où ils n'ont été distribués qu'en une fois quand la quantité totale à distribuer était < 5 kg.

Mesures et prélèvements

Les mesures à caractère zootechnique ont été individuelles et réalisées avec les fréquences hebdomadaires suivantes, différentes selon les essais : quantités ingérées : 2 ou 4 jours; quantité de lait produite : 4 ou 7 jours; taux butyreux et protéique : 2 à 4 jours. Les animaux ont été pesés au cours des 1^{re}, 3^e et 6^e semaines de la lactation. A Theix, du sang a été prélevé à chacun des animaux, dans la veine jugulaire, au début de l'après-midi, aux jours moyens 10 et 21 après le vêlage. Ces échantillons ont été conservés et poolés selon le lot et le jour de prélèvement, et analysés comme l'ont décrit Rémond *et al.* (1971).

Les résultats des 3 essais ont été analysés simultanément, par analyse de variance et de

covariance. On a systématiquement pris en compte les facteurs et les covariables suivants : l'essai (1, 2 ou 3), le traitement expérimental (apport ou non de D,L méthionine protégée), l'interaction essai x traitement, la quantité de lait attendue (calculée d'après la lactation précédente) et, dans l'étude des quantités de fourrage ingérées (essais 1 et 2), le poids vif des animaux mesuré au cours de la première semaine de lactation.

RÉSULTATS

Nous avons éliminé 19 vaches du dépouillement des résultats, pour des raisons a priori indépendantes des traitements expérimentaux (mammites, naissance de veaux jumeaux, etc.)

Dans l'essai 3, où la méthioninémie a été mesurée, celle-ci a été plus élevée chez les vaches supplémentées que chez les vaches témoins, de façon particulièrement nette (teneur multipliée par 2,7) pendant la première quinzaine de la lactation au cours de laquelle l'apport était en moyenne de 18 g/j (Tableau II).

L'apport de D,L méthionine protégée a accru la quantité de lait produite au cours des semaines de lactation 1 et 2, respectivement de 2,6 kg/j ($P < 0,01$) et de 1,2 kg/j ($P < 0,05$); de ce fait, il a aussi augmenté

Tableau II. Concentration de la méthionine dans le sang (essai 3).

	<i>Jour moyen de prélèvement après le vêlage</i>			
		10		21
Apport moyen de méthionine protégée (g/j)	0	18	0	10
Concentration de la méthionine (mg/100 g)	0,30	0,80	0,40	0,50

les quantités de protéines sécrétées (respectivement de 73 g/j, $P < 0,05$, et de 63 g/j, $P < 0,01$), mais pas celles de matières grasses. Ces effets sur la sécrétion du lait et celle des protéines ont disparu dès la semaine 3, si bien que la quantité moyenne de lait produite au cours des 6 semaines expérimentales n'a pas été affectée (Tableau III).

La quantité moyenne de protéines produites pendant cette même période est restée toutefois significativement plus élevée dans le lot des vaches complémentées en méthionine. Les teneurs du lait en matières grasses et en protéines, les variations de poids vif et les quantités ingérées (essais 1 et 2) n'ont pas été modifiées.

DISCUSSION

La méthioninémie plus élevée dans le lot complémenté en méthionine protégée que dans le lot témoin (essai 3) est en accord avec nos observations précédentes dans des essais où le même produit était utilisé (Rémond, 1988). Cela montre une absorption intestinale au moins partielle de la méthionine distribuée puisque Schwab *et al.* (1988) ont observé un accroissement de méthioninémie consécutivement à une infusion duodénale quotidienne de 12 g de D,L méthionine. Des mesures effectuées avec des moutons équipés de canules du duodénum ont conduit à estimer qu'avec la D,L méthionine protégée que nous avons utilisée, environ 50% de la quantité infusée dans le rumen disparaissait dans l'intestin grêle (J.C. Robert, société RPAN, communication personnelle).

Nos résultats montrent que l'apport de méthionine protégée peut avoir un effet relativement important sur la production lai-

tière en début de lactation, mais qu'il peut être de durée très réduite (2 semaines). Cette action peut donc passer inaperçue si les seuls résultats analysés sont les moyennes enregistrées pendant des périodes de plusieurs semaines.

Les accroissements de quantités de lait et de protéines sécrétées que nous avons observés sont peu communs s'ils sont comparés aux résultats de la majorité des essais dans lesquels le MHA ou la D,L méthionine libre étaient utilisés. Dans ces essais, en effet, les modifications de production laitière, quand il y en a eu, ont porté presque exclusivement sur le taux butyreux et la quantité de matières grasses produites (*cf.* Introduction). Dans nos essais, l'absence d'effet significatif sur la quantité de matières grasses sécrétées au cours des 2 premières semaines de lactation provient peut-être de l'extrême variabilité journalière et individuelle du taux butyreux pendant cette période, qui rend improbable la mise en évidence d'un effet significatif.

Ces résultats ne sont pas non plus semblables à ceux, plus récents, tirés d'essais où de la méthionine protégée a été utilisée. En effet, même si, dans 4 publications (Casper *et al.*, 1987; Illg *et al.*, 1987; Casper & Schingoethe, 1988; Schingoethe *et al.*, 1988) c'est sur la fraction protéique du lait (et non pas sur la fraction grasse) qu'ont porté les modifications, la quantité de protéines sécrétée n'a augmenté que dans un essai (Illg *et al.*, 1987) car l'accroissement significatif du taux protéique (0,7 g pour 1 000 en moyenne dans les 4 essais) a été compensé par une diminution de la quantité de lait produite. Par ailleurs, dans d'autres études réalisées également avec de la méthionine protégée (Williams *et al.*, 1970; Papas *et al.*, 1984a et b; Yang *et al.*, 1986; Rémond, 1988), aucune modification du taux protéique du lait ou des quantités de lait ou de protéines produites

Tableau III. Effet de l'apport de méthionine protégée à des vaches au tout début de la lactation sur la production laitière, la quantité d'aliments ingérée et la variation de poids vif (moyennes arithmétiques et effets estimés).

Lieu d'expérimentation (numéro de l'essai)	Orcival (1)		Marcenat(2)		Theix (3)		Analyse statistique
	-	+	-	+	-	+	
Conditions expérimentales							
Nombre de vaches	12	21	16	16	12	8	
Teneur en matières azotées de la ration (N x 6,25% MS)	16,5		17,4		14,3		
Bilan énergétique (S.1-2)* UFL/j	- 2,0		- 0,3		- 4,9		
Bilan protéique (S.1-2) g PDI/j	- 230		68		- 532		
Bilan énergétique (S.1-6) UFL/j	- 0,8		- 0,1		- 3,0		
Bilan protéique (S.1-6) g PDI/j	47		178		- 124		
Production laitière							
Lait (S.1) - kg/j	20,1	23,3	18,2	19,5	19,0	22,4	2,60
Lait (S.2) - kg/j	27,1	29,3	24	24,4	25,6	27,3	1,20
Lait (S.1-6) - kg/d	28,3	29,3	24,5	24,3	25,9	27,3	NS
Matières grasses (S.1-6) - g/j	1 101	1 141	939	927	1 190	1 247	NS
Protéines (S.1-6) - g/j	915	950	792	782	813	878	27
Taux butyreux (S.1-6) - g p. 1000	39,2	39,1	38,2	38,2	45,7	46,0	5 à 10%
Taux protéique (S.1-6) - g p. 1000	32,4	32,5	32,4	32,2	31,5	32,3	NS
Quantités d'aliments ingérées (S.1-6)							
Ration de base - kg MS/j	12,0	11,6	10,3	10,1	12,0	12,3	NS
Concentré - kg MS/j	6,6	6,5	6,1	6,0	4,3	4,3	NS
Variations de poids vif							
Poids S.1 - poids S.6 - kg	9,3	14,0	12,9	14,7	18,7	18,0	NS

* S. = semaine.

n'a été enregistrée. Il en est de même de la majorité des essais dans lesquels de la méthionine a été infusée dans la veine jugulaire (Fisher, 1972; Chamberlain & Thomas, 1982), ou dans la caillette ou le duodénum (Schwab *et al.*, 1976; Rulquin, 1987; Schwab *et al.*, 1988). Dans un essai d'alimentation, Ward *et al.* (1988) signalent toutefois un accroissement de la sécrétion de lait et de matières grasses chez les vaches primipares et multipares. L'intérêt d'apporter à l'organisme de la vache de la méthionine supplémentaire n'a pas été clairement établi, les réponses de production laitière ayant généralement été nulles ou faibles.

Un ensemble d'arguments suggèrent que, dans nos essais, la méthionine n'a pas agi par son caractère d'acide aminé indispensable : le stade physiologique particulier, caractérisé par des bilans nutritionnels très déficitaires (Tableau III), dans lequel ont eu lieu les effets observés; leur fugacité et leur disparition avec l'amélioration du bilan nutritionnel; leur répétition dans les 3 essais dans lesquels les bilans énergétique et azoté moyens des animaux, d'une part, et la nature de la ration de base, d'autre part, étaient pourtant différents. Or, d'une compilation portant sur la composition en acides aminés de contenus digestifs, Rulquin & Vérité (communication personnelle) conclurent que la lysine serait plus limitante que la méthionine dans des rations à base d'ensilage de maïs. Les effets les plus fréquemment cités dans la bibliographie d'un apport de méthionine libre ou de MHA (*cf.* Introduction) ne suggèrent pas non plus une amélioration de la nutrition azotée des animaux; celle-ci a, en effet, eu pour conséquence presque systématique une augmentation de la quantité de lait sécrétée, sans grande modification des taux butyreux et protéique (Remond, 1985). En fait, des études récentes (Sharma & Erd-

man, 1988) ont montré que l'infusion post-ruminale de méthionine à des vaches a des effets semblables à celle de la choline, dont les rôles dans le métabolisme lipidique du foie sont bien établis. Ce rôle lipotrope de la méthionine rendrait mieux compte de ses effets les plus fréquemment observés (accroissement de la sécrétion de matières grasses dans le lait) et du stade de lactation préférentiel de leur manifestation (début de la lactation), que son caractère d'acide aminé limitant. Celui-ci ne semble pouvoir se manifester que si de la lysine est simultanément apportée selon les résultats de 2 essais conduits par Rulquin (1987) avec des vaches qui recevaient des rations composées de maïs plante entière, de foin et d'aliment concentré.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la société Rhône Poulenc Animal Nutrition (appelée AEC jusqu'en 1988), 03600 Commentry, France, qui nous a fourni la méthionine protégée et a participé au financement de ces études.

RÉFÉRENCES

- Bishop R.B. (1971) Effects of methionine hydroxy analog on complete lactation of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 54, 1240 (abstr.)
- Burgos A. & Olson H.H. (1970) Effects of 40 g of MHA on yield and composition of milk. *J. Dairy Sci.* 53, 647 (abstr.)
- Casper D.P. & Schingoethe D.J. (1988) Protected methionine supplementation to a barley-based diet for cows during early lactation. *J. Dairy Sci.* 71, 164-172

- Casper D.P., Schingoethe D.J., Yang C.M.J. & Mueller C.R. (1987) Protected methionine supplementation with extruded blend of soybeans and soybean meal for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 70, 321-330
- Chalupa W. (1975) Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58, 1198-1218
- Chamberlain D.G. & Thomas P.C. (1982) Effect of intravenous supplements of L-methionine on milk yield and composition in cows given silage - cereal diets. *J. Dairy Res.* 49, 25-28
- Champredon C. & Pion R. (1978) Azote. Utilisation métabolique. In : *Alimentation des Ruminants*. Ed. INRA Publications route de Saint-Cyr, 78000 Versailles, pp. 105-110
- Chandler P.T., Brown C.A., Johnston R.P., MacLeod G.K., MacCarthy R.D., Moss B.R., Rakes A.H. & Satter L.D. (1976) Protein and methionine hydroxy analog for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 59, 1897-1909
- Fisher L.J. (1972) Response of lactating cows to the intravenous infusion of amino acids. *Can. J. Anim. Sci.* 52, 377-384
- Illg D.J., Sommerfeldt J.L. & Schingoethe D.J. (1987) Lactational and systemic responses to the supplementation of protected methionine in soybean meal diets. *J. Dairy Sci.* 70, 620-629
- Jenny B.F., van Dijk H.J., Grimes L.W. & O'Dell G.D. (1980) Effect of methionine hydroxy analog and two levels of protein in complete feeds to cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 63 (Suppl. 1), 182 (abstr.)
- Laurent F. & Vignon B. (1972) Note concernant les effets sur des vaches en début de lactation d'une supplémentation en sulfate de sodium, en méthionine ou en son analogue hydroxylé MHA. *Bull. ENSAIA Nancy* XIV, 157-162
- Lundquist R., Bhargava P.K., Linn J.G. & Otterby D.E. (1982) Methionine hydroxy analog for lactating dairy cattle. Proc. 43rd Minnesota Nutrition Conference, pp. 31-45
- Lundquist R., Linn J.G. & Otterby D.E. (1983) Influence of dietary energy and protein on yield and composition of milk from cows fed with MHA. *J. Dairy Sci.* 66, 475-491
- MacCarthy R.D., Porter G.A., Griel L.C. (1968) Bovine ketosis and depressed fat test in milk. A problem of methionine metabolism and serum lipoprotein aberration. *J. Dairy Sci.* 51, 459-462
- Papas A.M., Sniffen C.J. & Muscato T.V. (1984) Effectiveness of rumen-protected methionine for delivering methionine postruminally in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67, 545-552
- Papas A.M., Vicini J.L., Clark J.H. & Peirce-Sandner S. (1984) Effect of rumen-protected methionine on plasma free amino acids and production by dairy cows. *J. Nutr.* 114, 2221-2227
- Polan C.E., Chandler P.T. & Miller C.N. (1970) Methionine hydroxy analog : varying levels for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 53, 607-610
- Rémond B. (1985) Influence de l'alimentation sur la composition du lait de vache. 2. Taux protéique : facteurs généraux. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA* 62, 53-67
- Rémond B. (1988) Effet de l'addition de méthionine protégée à la ration des vaches laitières : influence du niveau des apports azotés. *Ann. Zootech.* 37, 271-284
- Rémond B., Champredon C., Decaen C., Pion R. & Journet M. (1971) Influence d'un apport de D,L méthionine à des vaches laitières en début de lactation sur la production laitière et la composition du sang. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.* 11, 455-469
- Rémond B., Rémésy C., Ruffio P. & Chilliard Y. (1984) Intérêt du monopropylène glycol dans la prévention et dans le traitement des cétooses chez les vaches laitières. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA* 56, 21-30
- Rulquin H. (1987) Détermination de certains acides aminés limitants chez la vache laitière par la méthode des administrations post-ruminales. *Reprod. Nutr. Dev.* 27 (1B), 299-300
- Schingoethe D.J., Casper D.P., Yang C., Illg P.J., Sommerfeldt J.L. & Mueller C.R. (1988) Lactational response to soybean meal, heated soybean meal and extruded soybeans with ruminally protected methionine. *J. Dairy Sci.* 71, 173-180
- Schwab C.G., Satter L.D. & Clay A.B. (1976) Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. *J. Dairy Sci.* 59, 1254-1270
- Schwab C.G., Bozak C.K. & Mesbah M.M.A. (1988) Production response to duodenal infusion of methionine and lysine at peak lactation. *J. Dairy Sci.* 71 (Suppl. 1), 160 (abstr.)
- Sharma B.K. & Erdman R.A. (1988) Abomasal infusion of choline and methionine with or with-

- out 2-amino-2-methyl-1-propanol for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71, 2406-2411
- Stanley R.W. & Toma W. (1977) Methionine supplementation for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 60 (Suppl. 1), 70 (abstr.)
- Wallenius R.W. & Whitchurch R.E. (1975) Methionine hydroxy analog or sulfate supplementation for high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 58, 1314-1319
- Ward N.E., Wicker D.L., Allendale N.J., Koch F. & Gunther K.D. (1988) Influence of protected DL-methionine (Mepron) on the production of dairy cows and heifers. *J. Dairy Sci.* 71 (Suppl. 1), 161 (abstr.)
- Williams L.R., Martz F.A. & Hilderbrand E.S. (1970) Feeding encapsulated methionine supplement for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 53, 1709-1713
- Yang C.M.J., Schingoethe D.J. & Casper D.P. (1986) Protected methionine and heat-treated soybean meal for high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69, 2348-2357