

# Intérêts et limites d'un apport de méthionine et de lysine dans l'alimentation des vaches laitières

La notion d'acides aminés limitants, depuis longtemps reconnue dans l'alimentation des monogastriques, est presque mythique pour les ruminants. La production des vaches peut-elle être réellement limitée par certains acides aminés ? Lesquels ? Dans quelles conditions ? Autant de questions auxquelles les travaux récents apportent des réponses de plus en plus précises, du moins en ce qui concerne la méthionine et la lysine.

Durant les vingt dernières années, de nombreuses avancées dans la connaissance de la digestion des ruminants ont abouti à la mise en place de systèmes pratiques d'alimentation protéique comme celui des PDI (INRA 1988). Le raisonnement en protéines ou en acides aminés totaux utilisé dans ces systèmes, n'est cependant qu'une étape dans la maîtrise de la nutrition azotée des ruminants. En effet, l'utilisation de traceurs isotopiques a permis de montrer que les ruminants ont des besoins en certains acides aminés (AA) tout comme les autres espèces (Black *et al* 1990). Malheureusement, les particularités digestives des ruminants rendent l'estimation de ces besoins très difficile. Celle-ci n'a pu se faire qu'en s'affranchissant des fermentations dans le rumen, notam-

ment par des infusions post-ruminales dans la caillette ou le duodénum. Ces techniques sont lourdes à mettre en œuvre sur des gros animaux comme les vaches laitières et les progrès dans la détermination des AA les plus "limitants" sont lents.

Les travaux ont été effectués principalement sur la méthionine et la lysine car ces acides aminés apparaissaient pouvoir limiter les premiers la sécrétion des protéines dans le lait (Schwab *et al* 1976 ; Rulquin 1987). Jusqu'à ces dernières années, l'intérêt d'utiliser ces AA ou des analogues chimiques découlait plus de calculs théoriques ou de tests indirects (évolution des concentrations d'acides aminés dans le sang...) que de quelques démonstrations directes souvent contradictoires (Lørch et Oke 1989). Depuis, une certaine banalisation des techniques d'infusions et surtout la production industrielle de ces AA sous une forme résistante aux dégradations dans le rumen ont permis de multiplier les essais mesurant leurs effets sur la production des animaux. L'ensemble des situations étudiées est suffisamment vaste pour préciser le niveau et les facteurs de variation de la réponse des vaches laitières à un apport post-ruminal de méthionine et de lysine.

## Résumé

L'objectif de cette étude analytique de la bibliographie a été de préciser les réponses des vaches laitières à un apport post-ruminal de méthionine et de lysine, et d'en déterminer les facteurs de variation. Cent vingt et un essais mesurant les effets de l'apport de ces acides aminés (AA) (sous forme d'infusion dans l'intestin ou d'acides aminés protégés contre les dégradations ruminales) sur la production et la composition du lait ont été utilisés. Globalement, ces AA élèvent la production de protéines en accroissant le taux protéique du lait. L'augmentation est plus importante lorsque les deux AA sont associés (+ 1,1 g/kg) que lorsqu'ils ne le sont pas (+ 0,4 g/kg). Lorsque les deux AA sont apportés ensemble, la réponse est plus importante avec les régimes à base de maïs (+ 1,1 g/kg) qu'avec les autres types de régime (+ 0,7 g/kg). Avec des régimes "riches en maïs", la réponse est plus faible lorsque la ration est pauvre en azote (+ 0,9 g/kg si < 14 % MAT vs + 1,3 g/kg si > 14 % MAT). Avec ce dernier type de ration la réponse du taux protéique s'accroît avec la quantité de lysine apportée (+ 0,05 g/kg par gramme additionnel de lysine). Enfin, avec ce type de ration, l'apport de lysine et de méthionine durant le début de la lactation permet d'accroître la production laitière de 0,7 kg/j.

## 1 / Données utilisées

### 1.1 / Origine et caractéristiques des données

Cent vingt neuf traitements mesurant, par comparaison à un témoin non complétement, les effets

sur la production et la composition du lait d'un apport post-ruminal de méthionine et/ou de lysine ont été recensés. Les données de 8 d'entre eux n'ont pas été incluses soit parce qu'elles étaient incomplètes, soit qu'elles s'écartaient très largement de la moyenne. Les 121 études analysées sont issues de 14 laboratoires : 1 allemand (Kaufman *et al* 1980), 1 écossais (Girdler *et al* 1988a, 1988b), 3 français (Rémond 1989 ; Robert *et al* 1989 ; Rulquin, 1987 ; Rulquin *et al* 1990, 1991 ; Le Henaff *et al* 1990 ; Rulquin non publié), 8 américains (Bozak *et al* 1989 ; Canale *et al* 1990 ; Chow *et al* 1990 ; Donkin *et al* 1989 ; Faldet *et al* 1989 ; Papas *et al* 1984a, 1984b ; Rogers *et al* 1987 ; Rogers *et al* 1989 ; Schingøthe *et al* 1988 ; Schwab *et al* 1976, 1988, 1989 ; Seymour *et al* 1990), et 1 néo-zélandais (Rogers *et al* 1979).

Dans 43 cas, les acides aminés ont été apportés par des infusions post-ruminales (caillette ou duodénum) et, dans 78 cas, avec des acides aminés protégés contre les dégradations ruminales. Différents procédés de protection contre les dégradations dans le rumen ont été employés : le traitement au formol, l'enrobage avec des lipides, l'enrobage avec des polymères sensibles au pH qui sont dégradés par l'acidité existant dans la caillette. Ce dernier procédé a été utilisé dans tous les essais où les 2 AA étaient apportés simultanément et dans 67 % de ceux où la complémentation ne portait que sur la méthionine.

La lysine et la méthionine étaient plutôt apportées en association (79 % des essais) que séparément. Dans la plupart des essais (70 %), le supplément disponible au niveau de l'intestin (en prenant pour les formes protégées les coefficients de protection annoncés par les fabricants) se situait entre 8 et 12 g/j pour la méthionine et entre 15 et

30 g/j pour la lysine. Les acides aminés utilisés étaient dans tous les cas sous forme de L-lysine HCl (monochlorhydrate) et de DL- méthionine (forme racémique).

L'ensemble des conditions de production couvertes par ces travaux est assez vaste (tableau 1). Les essais se situaient principalement (53 %) en milieu de lactation (entre la 10<sup>e</sup> et la 24<sup>e</sup> semaine de lactation) et seulement 31 % en début de lactation (semaines 1 à 9). Le niveau de production des animaux était assez élevé, dépassant 30 kg/j dans 74 % des essais. Le taux protéique du lait présentait une distribution habituelle pour des animaux de type Holstein : dans 55 % des essais il était compris entre 26 et 29 g/kg et dans 41 % des essais, entre 29 et 32 g/kg.

Les rations utilisées avaient une teneur en matières azotées comprise entre 15 et 18 % dans 70 % des cas et inférieure à 15 % dans 22 % des cas. La ration de base était principalement constituée par de l'ensilage de maïs, utilisé seul (73 % des rations) ou en mélange avec du foin, ou de l'ensilage d'herbe (13 % des cas). Le tourteau de soja représentait 64 % des compléments azotés employés, le corn gluten meal 30 % et les produits animaux seulement 2 %.

## 1.2 / Analyse des données

Les données de base utilisées dans cette analyse correspondent à des moyennes obtenues sur des lots de 4 à 30 vaches suivant les essais. Pour exprimer toutes les données de taux protéique en termes de protéines vraies, celles exprimées en N x 6,38 ont été diminuées de 1,6 g/kg (teneur moyenne des matières azotées non protéiques dans le lait).

Tableau 1. *Caractéristiques générales des 121 essais*

	Moyenne	Plage de variation
Stade de lactation (semaines)	13	2 à 36
Teneur en MAT de la ration (% MS)	15	10,7 à 21,9
Protéines de maïs (% des MAT de la ration)	45,4	0,0 à 96,0
Apport post-ruminal de Lysine (g/j)	16	5 à 45
Apport post-ruminal de Méthionine (g/j)	9	3 à 24
<b>Lots non complémentés</b>		
Production de lait (kg/j)	28,5	4,9 à 38,1
Taux protéique (g/kg)	29,1	25,6 à 37,3
Taux butyreux (g/kg)	36,4	26,3 à 47,9
<b>Lots complémentés (par rapport aux témoins)</b>		
Production de lait (kg/j)	+ 0,1	- 2,3 à + 2,2
Production de protéines (g/j)	+ 29	- 131 à + 118
Production de matières grasses (g/j)	+ 5	- 55 à + 149
Taux protéique (g/kg)	<b>+ 0,9</b>	- 0,6 à + 3,6
Taux butyreux (g/kg)	+ 0,1	- 4,3 à + 5,6

Les réponses en gras sont différentes de zéro à P < 0,05

**Les réponses de la production et de la composition du lait à l'apport de méthionine et de lysine sont variables. Seul l'effet positif sur le taux protéique est significatif.**

Les réponses (écarts entre les valeurs obtenues par le lot complétement en AA et par le lot non complétement) de la production et de la composition (taux butyreux et taux protéique) du lait ont été analysées en fonction de la nature des acides aminés apportés, du type de régime, de la teneur en azote de la ration, du stade de lactation et de la quantité d'acides aminés apportés. L'indépendance entre l'amplitude des réponses et le niveau de production laitière ou de taux protéique a été testée par analyse de covariance en prenant comme covariables les niveaux des lots non complétement.

## 2 / Résultats

En moyenne, l'apport de méthionine et/ou de lysine a peu modifié la production de lait, de protéines et de matières grasses mais a permis d'accroître significativement le taux protéique de 0,9 g/kg sans modification du taux butyreux. La plage de variation des réponses est cependant très grande : de - 2,3 à + 2,2 kg/j de lait et de - 0,6 à + 3,6 g/kg de taux protéique (tableau 1).

### 2.1 / Effet de la nature des acides aminés apportés

Une partie de cette variabilité peut être expliquée par la nature des acides aminés apportés. Dans des situations nutritionnelles aussi variées que celles utilisées dans cette étude, l'emploi d'un seul de ces deux acides aminés paraît moins efficace qu'une association des deux. En effet, l'apport post-ruminal de méthionine avec de la lysine permet d'obtenir un accroissement significativement (tableau 2) plus élevé du taux protéique qu'avec de la méthionine seule (1,1 vs 0,4 g/kg) ou de la lysine seule (1,1 vs 0,2g/kg). L'association des deux acides aminés permet d'accroître significativement la production de protéines de 35 g/j. L'effet de la quantité de chacun des acides aminés apportés est, semble-t-il, masqué par d'autres facteurs plus importants comme : le type de régime, le niveau azoté de la ration.

**Tableau 2.** Effets de la nature des apports post-ruminaux d'acides aminés (méthionine et lysine) sur la réponse de la production et de la composition du lait.

Apport post-ruminal (nombre d'essais)	Lys (3)	Met (22)	Met et Lys (96)	ETR
<b>Productions</b>				
Lait (kg/j)	+ 0,5	- 0,2	+ 0,2	0,9
Protéines(g/j)	+ 8	+ 5	+ 35	34
Matières grasses (g/j)	+ 11	+ 13	+ 3	49
<b>Composition du lait</b>				
Taux protéique (g/kg)	- 0,2	+ 0,4	+ 1,1 S	0,7
Taux butyreux (g/kg)	- 0,2	+ 0,5	- 0,2	1,6

Les réponses en gras sont différentes de zéro à P < 0,05 ; S = les réponses d'une même ligne sont différentes à P < 0,05

### 2.2 / Effets du type de régime

Les réponses obtenues sur les 96 essais dans lesquels la méthionine et la lysine avaient été apportées simultanément dépendent du type de régime. Suivant que la proportion des protéines issues du maïs (grain + partie végétative + corn gluten meal) dans les MAT de la ration était inférieure ou supérieure à 32 % les régimes ont été respectivement considérés comme "pauvres en maïs" ou "riches en maïs". La limite a été fixée à 32 % car elle correspond à la part des protéines issues du maïs dans les rations contenant 65 à 70 % d'ensilage de maïs qui sont classiquement utilisées en France. Dans ces conditions, l'augmentation de la production de protéines est significativement plus importante avec des rations "riches en maïs" (tableau 3). Avec des rations moins "riches en maïs" que les rations à base d'ensilage de maïs, l'apport de lysine et de méthionine permet une augmentation plus faible du taux protéique (0,7 vs 1,1 g/kg) et entraîne un accroissement significatif du taux butyreux de 1,5 g/kg (tableau 3).

### 2.3 / Effets du niveau azoté de la ration

Les réponses à un apport de méthionine et de lysine peuvent être limitées par un niveau azoté trop faible. Avec les rations "riches en maïs" pour lesquelles les données étaient les plus nombreuses, l'augmentation du taux protéique est de 0,9 g/kg lorsque la teneur en MAT de la ration est inférieure à 14 % alors qu'elle atteint 1,3 g/kg pour des teneurs supérieures (tableau 4).

### 2.4 / Effets du stade de lactation et du niveau de production

La réponse des vaches semble varier avec le stade de lactation. En effet, en début de lactation, la réponse porte à la fois sur la production de lait et sur le taux protéique alors qu'en milieu de lactation elle porte uniquement sur le taux protéique (tableau 5).

**Tableau 3.** Effets de la nature de la ration sur les réponses à un apport post-ruminal de méthionine et de lysine.

Rations	Pauvre en maïs	Riche en maïs	ETR
(Protéines de maïs % MAT)	0 à 31	32 à 96	
(MAT % MS)	15,8	14,8	
(nombre d'essais)	(9)	(87)	
<b>Apports post-ruminaux d'acides aminés</b>			
Méthionine (g/j)	7	8	
Lysine (g/j)	21	20	
<b>Productions</b>			
Lait (kg/j)	- 0,2	+ 0,2	0,9
Protéines (g/j)	+ 10	+ 38 S	33
Matières grasses (g/j)	+ 21	+ 1	50
<b>Composition du lait</b>			
Taux protéique (g/kg)	+ 0,7	+ 1,1 S	0,7
Taux butyreux (g/kg)	+ 1,5	- 0,2 S	1,6

Les réponses en gras sont différentes de zéro à  $P < 0,05$  ; S = les réponses d'une même ligne sont différentes à  $P < 0,05$ .

**Tableau 4.** Rations riches en maïs : Effets de la teneur en matières azotées de la ration sur les réponses à un apport post-ruminal de méthionine et de lysine.

Teneur en azote de la ration	Faible	Forte	ETR
(MAT % MS)	10 à 14,2	14,3 à 17,3	
(Protéines de maïs % MAT)	47,9	48,9	
(nombre d'essais)	(25)	(62)	
<b>Apports post-ruminaux d'acides aminés</b>			
Méthionine (g/j)	10	8	
Lysine (g/j)	24	20	
<b>Productions</b>			
Lait (kg/j)	+ 0,5	+ 0,3	0,9
Protéines (g/j)	+ 38	+ 49	33
Matières grasses (g/j)	+ 8	+ 2	51
<b>Composition du lait</b>			
Taux protéique (g/kg)	+ 0,9	+ 1,3 S	0,6
Taux butyreux (g/kg)	- 0,2	- 0,3	1,6

Les réponses en gras sont différentes de zéro à  $P < 0,05$  ; S = les réponses d'une même ligne sont différentes à  $P < 0,05$ .

La réponse du taux protéique semble être la même pour les lots d'animaux faibles ou forts producteurs et pour les lots d'animaux à taux protéique bas ou élevé (covariables non significatives). Par contre, l'augmentation de la production de protéines a tendance à être plus importante pour les animaux forts producteurs.

### 2.5 / Doses d'acides aminés utilisées

Avec les rations "riches en maïs", bien pourvues en azote et complémentées en méthionine (apport post-ruminal de 9 g/j), l'accroissement du taux protéique paraît être d'autant plus important

(figure 1) que la dose de lysine apportée est élevée (0,05 g/kg, par gramme additionnel de lysine), les réponses pouvant atteindre 3 g/kg pour les doses les plus fortes. Le nombre insuffisant de données n'a pas permis de réaliser une analyse du même type sur les doses de méthionine.

## 3 / Discussion et conclusions

L'ensemble de ces essais montre que la production des constituants du lait, plus particulièrement celle des protéines, peut être accrue par un

**L'augmentation du TP est plus importante lorsque la ration de base est l'ensilage de maïs et lorsque les besoins azotés sont bien couverts.**

**Tableau 5. Effets du stade de lactation sur les réponses à un apport post-ruminal de méthionine et lysine : cas des rations riches en maïs.**

Stade de lactation	Début	Milieu	ETR
(semaines) (nombre d'essais)	1 à 9 (16)	10 à 29 (71)	
Apports post-ruminaux d'acides aminés			
Méthionine (g/j)	10	8	
Lysine (g/j)	24	20	
<b>Productions</b>			
Lait (kg/j)	+ 0,7	+ 0,1 S	0,9
Protéines (g/j)	+ 56	+ 31 S	33
Matières grasses (g/j)	+ 10	+ 1	51
<b>Composition du lait</b>			
Taux protéique (g/kg)	+ 1,2	+ 1,0	0,7
Taux butyreux (g/kg)	- 0,5	- 0,0	1,6

Les réponses en gras sont différentes de zéro à  $P < 0,05$  ; S = les réponses d'une même ligne sont différentes à  $P < 0,05$ .

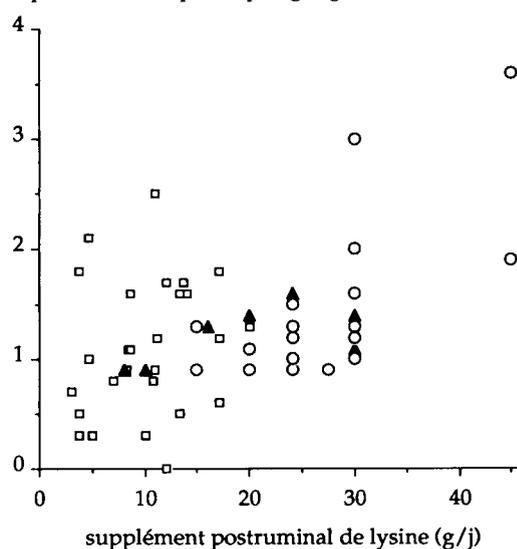
apport complémentaire de certains acides aminés comme la méthionine et la lysine. Dans ce cas, l'amélioration de la production de protéines consécutive à un apport post-ruminal de ces acides aminés provient, en début de lactation, d'une augmentation de la production laitière seule ou de la production laitière et du taux protéique et, en milieu de lactation, du taux protéique seulement. Le lien qui existe entre la synthèse des protéines du lait et la disponibilité (au niveau mammaire) des différents acides aminés qui les constituent permet de comprendre aisément l'effet sur le taux protéique mais pas celui sur la production de lait. Ce dernier ne dépend vraisemblablement pas d'un relais hormonal car la lysine et la méthionine stimulent peu la sécrétion d'hormones galactopoïétiques comme la somatotropine (Kuhara *et al* 1991). Il est possible que, apportés durant une phase où la multiplication des cellules mammaires se poursuit légèrement (Knight et Peaker 1984), les acides aminés puissent stimuler la prolifération des cellules comme cela a été démontré chez la truie et la rate (Jansen 1989) et, par conséquent accroître la sécrétion de lait. L'augmentation du taux protéique est d'autant plus intéressante pour la transformation fromagère du lait qu'elle porte essentiellement sur les caséines (Donkin *et al* 1989 ; Le Henaff *et al* 1990 ; Rulquin *et al* 1991) et plus précisément sur chacune des fractions caséiniques (Hurtaud, communication personnelle).

L'amplitude de la réponse dépend essentiellement de deux éléments principaux : 1 - la nature de la ration, 2 - la nature de l'apport post-ruminal d'AA.

Les réponses sont plus importantes avec les rations "riches en maïs" (ensilage ou grain) qu'avec les autres types de rations. Cela provient du fait qu'à même apport de PDI, la fourniture intestinale de lysine et de méthionine est la plus faible avec les rations à base de maïs (Le Henaff *et al* 1988 ; Le Henaff 1991). La faible dégradabilité dans le rumen des protéines de maïs et leur rela-

tive pauvreté en lysine (INRA 1988) sont sans doute à l'origine des différences observées au niveau intestinal. Le lien existant entre la nature de la ration et le niveau de réponse à un apport de méthionine et de lysine a pu aussi être démontré en utilisant des compléments azotés de composition très différente avec la même ration de base (Rulquin *et al* 1991). En effet, avec des rations comportant au moins 65 % d'ensilage de maïs, la

réponse du taux protéique (g/kg)



**Figure 1. Effet de la dose de lysine apportée sur le taux protéique (en écart de TP) du lait de vaches recevant des rations riches en maïs et en azote.**

- Eastmann Chemical Division  
(Rogers *et al* 1987, Donkin *et al* 1989, Rogers *et al* 1989, Canale *et al* 1990)
- ▲ Université du New Hampshire  
(Schwab *et al* 1988, Bozak *et al* 1989, Schwab *et al* 1989)
- INRA St Gilles et  
Rhône Poulenc Nutrition animale  
(Robert *et al* 1989, Le Henaff *et al* 1990, Rulquin *et al* 1990, Rulquin *et al* 1991)

réponse du taux protéique à un apport post-ruminal de méthionine et de lysine est de :

- + 0,02 g/kg avec un complément azoté riche en ces deux acides aminés (farine de poisson),

- + 1,2 g/kg avec les compléments azotés pauvres en méthionine ou lysine (farine de sang, gluten meal) ou moyennement fournis en ces deux acides aminés (tourteaux de soja/colza tannés),

- + 2,0 g/kg avec un complément pauvre en lysine et méthionine (tourteaux d'arachide tannés).

Il semble que le caractère limitant de la lysine et (ou) de la méthionine soit fonction du complément azoté utilisé. Ainsi, la lysine serait "limitante" avec le corn gluten meal, la méthionine avec la farine de sang et les deux AA seraient "colimitants" avec les tourteaux tannés de soja/colza et d'arachide. Ceci permet de comprendre que, sur la gamme très variée de rations utilisées dans la présente étude, la réponse moyenne la plus importante soit obtenue avec une association des deux AA. L'ensemble des résultats n'ayant pas été obtenu avec des infusions, une partie des différences de réponses pourrait aussi être due à la nature des procédés de protection utilisés. En effet, les données correspondant à l'association des deux AA ont été obtenues avec un seul type de protection (enrobage pH sensible) alors que celles concernant l'apport d'un seul AA ont été obtenues avec des procédés très variés.

Le niveau des apports postruminaux de lysine et de méthionine a fait l'objet de peu de recherches. En effet, les effets favorables d'infusions de caséine sur la synthèse des protéines du lait étant bien établis (cf. revue de Rémond 1985), le niveau de supplémentation utilisé dans la plupart des essais a été calculé pour correspondre aux apports de lysine et de méthionine amenés par 300 à 400 g de caséine. Une comparaison directe (11 essais) des effets d'infusions de caséine avec ceux de doses équivalentes de lysine et de méthio-

nine montre que ces deux acides aminés expliquent 100 % de la réponse du taux protéique à l'infusion de caséine et seulement 58 et 21 % des réponses de la production de protéines et de lait (tableau 6). Si l'effet de la caséine sur le volume de lait sécrété ne peut être attribuable à la lysine et à la méthionine seules, il pourrait l'être également à d'autres acides aminés comme l'arginine et l'histidine (Schwab *et al* 1976). En ce qui concerne le taux protéique, l'équilibre méthionine / lysine de la caséine ne semble toutefois pas être optimal puisqu'à même apport de méthionine, les réponses sont d'autant plus importantes que les apports de lysine sont élevés. La détermination de l'apport optimal de lysine se heurte au fait que l'amplitude des réponses est fonction du taux protéique de la ration et donc de l'apport des autres acides aminés (Rulquin *et al* 1990, Rulquin *et al* 1991).

D'un point de vue pratique, il apparaît clairement que les rations à base de maïs n'apportent pas suffisamment de méthionine et/ou de lysine. Le gain moyen de taux protéique qui peut être attendu d'une correction des apports de méthionine et de lysine est de 1 à 1,5 g/kg. Pour être efficace, cette correction ne doit se faire qu'une fois les besoins énergétiques et azotés des animaux couverts. La façon d'accroître les apports de méthionine et de lysine passe par une "optimisation" des synthèses microbiennes dans le rumen (les microbes étant très riches en ces deux AA) et par l'utilisation de protéines alimentaires d'origine végétale ou animale peu dégradables et riches en ces AA ou d'acides aminés efficacement protégés contre les dégradations dans le rumen. A moyen terme, l'alimentation azotée des vaches laitières devrait pouvoir se raisonner à l'aide d'un système prenant en compte individuellement les acides aminés les plus limitants. Ce système est en cours d'élaboration (Le Henaff *et al* 1988, Le Henaff 1991, Rulquin *et al* non publié) pour la méthionine et la lysine, il pourra être étendu aux acides aminés "limitants" des autres régimes lorsque ceux-ci auront été déterminés.

**Tableau 6. Réponses à un apport post-ruminal de méthionine et de lysine ou de caséine (11 essais).**

Nature de l'apport	Met + Lys	Caséine	ETR
Apports d'acides aminés			
Méthionine (g/j)	10	10	
Lysine (g/j)	27	27	
Production de lait (kg/j)	+ 0,3	+ 1,4 S	0,68
Production de protéines (g/j)	+ 45	+ 77 S	21,9
Taux protéique (g/kg)	+ 1,1	+ 1,1	0,38

Les réponses en gras sont différentes de zéro à  $P < 0,05$  ; S = les réponses d'une même ligne sont différentes à  $P < 0,05$ .

## Références bibliographiques

- BLACK A.L., ANAND R.S., BRUSS M.L., BROWN C.A., NAKAGIRI J.A., 1990. Partitioning of amino acids in lactating cows : oxidation to carbon dioxide. *J. Nutr.*, 120, 700-710.
- BOZAK C.K., SCHWAB C.G., WHITEHOUSE N.L., OLSON V.M., 1989. Peak and early lactation responses in dairy cows to postruminal infusions of methionine and lysine. *J. Dairy Sci.*, 72 (Suppl. 1), 496-497 (abstr.).
- CANALE C.J., MULLER L.D., Mc CAHON H.A., WHITSEL T.J., VARGA G.A., LORMORE M.J., 1990. Dietary fat and ruminally protected amino acids for high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 73, 135-141.
- CHOW J.M., De PETERS E.J., BALDWIN R.L., 1990. Effect of rumen-protected methionine and lysine on casein in milk when diets high in fat or concentrate are fed. *J. Dairy Sci.*, 73, 1051-1061.
- DONKIN S.S., VARGA G.A., SWEENEY T.F., MULLER L.D., 1989. Rumen protected methionine and lysine : Effects on animal performance, with protein yield and physiological measures. *J. Dairy Sci.*, 72, 1484-1491.
- FALDET M.A., NALSEN T., BUSH L.J., ADAMS G.D., 1989. Utilization of wheat in complete rations for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 72, 1243-1251.
- GIRDLER C. P., THOMAS P. C., CHAMBERLAIN D. G., 1988a. Effect of intraabomasal infusions of amino acids or a mixed animal protein source on milk production in the dairy cow. *Proc. Nutr. Soc.*, 47 (1), 50A.
- GIRDLER C.P., THOMAS P.C., CHAMBERLAIN D.G., 1988b. Effects of rumen-protected methionine and lysine on milk production from cows given grass silage diets. *Proc. Nutr. Soc.*, 47, 82A.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. R. Jarrige, INRA-Paris, 476 p.
- JANSEN G.R., 1989. Effect of dietary protein value on lactation. In : Absorption and utilization of amino acids. Vol II. Ed. M. Friedman. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 191-218.
- KAUFMAN W., LUPPING W., HAGEMEISTER H., 1980. Protected methionine and protected amino acids and their significance in the protein metabolism of ruminants. *European Association for Animal Production*, 27(2), 561-571.
- KNIGHT C.H., PEAKER M., 1984. Mammary development and regression during lactation in goats in relation to milk secretion. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 69, 331-338.
- KUHARA T., IKEDA S., OHNEDA A., SASAKI Y., 1991. Effects of intravenous infusion of 17 amino acids on the secretion of GH, glucagon, and insulin in sheep. *Am. J. Physiol.*, 260 (Endocrinol. Metab. 23), E21-E26.
- LE HENAFF L., 1991. Importance des acides aminés dans la nutrition des vaches laitières. Thèse de Docteur de l'Université de Rennes I : N 253.
- LE HENAFF L., RULQUIN H., PEYRAUD J. L., 1988. Composition en acides aminés du flux d'azote entrant dans le duodénum chez la vache laitière. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28 Suppl. 1, 119-120.
- LE HENAFF L., RULQUIN H., VERITE R., 1990. Lactational responses to postruminal infusions of amino acids (AA) in dairy cows fed maize silage, hay or grass silage. *Reprod. Nutr. Dev.*, (Suppl 2).
- LËRCH S.C., OKE B.O., 1989. Rumen protected amino acids in ruminant nutrition. In : Absorption and utilization of amino acids. Vol. III Ed. Friedman M., CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 187-200.
- PAPAS A. M., SNIFFEN C. J., MUSCATO T. V., 1984a. Effectiveness of rumen-protected methionine for delivering methionine postruminally in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 67 (3), 545-552.
- PAPAS A.M., VICINI J.L., CLARK J.H., PEIRCE-SANDNER S., 1984b. Effect of rumen-protected methionine on plasma free amino acids and production by dairy cows. *J. Nutr.*, 114, 2221-2227.
- REMOND B., 1985. Influence de l'alimentation sur la composition du lait de vache. 2. Taux protéique : facteurs généraux. *Bull. Tech. C.R.Z.V.*, 62, 53-67.
- REMOND B., 1989. 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. *Ann. Zootech.*, 38, 129-137.
- ROBERT J.C., SLOAN B., SABY B., MATHE J., DUMONT G., DURON M., DZYKZO E., 1989. Influence of dietary nitrogen content and inclusion of rumen-protected methionine and lysine on nitrogen utilization in the early lactation dairy cow. *AJAS*, 2 (3), 544-545.
- ROGERS G. L., BRYANT A. M., JURY K. E., HUTTON J. B., 1979. Silage and dairy cow production. 3. Abomasal infusions of casein, methionine, and glucose, and milk yields and composition. *N. Z. J. Agric. Res.*, 22, 533-5541.
- ROGERS J.A., KRISHNAMOORTHY U.K., SNIFFEN C.J., 1987. Plasma amino acids and milk protein production by cows fed rumen-protected methionine and lysine. *J. Dairy Sci.*, 70, 789-798.
- ROGERS J.A., PIERCE-SANDNER S.B., PAPAS A.M., POLAN C.E., SNIFFEN C.J., MUSCATO T.V., STAPLES C.R., CLARK J.H., 1989. Production responses of dairy cows fed various amounts of rumen protected methionine and lysine. *J. Dairy Sci.*, 72, 1800-1817.
- RULQUIN H., 1987. Détermination de certains acides aminés limitants chez la vache laitière par la méthode des administrations post ruminales. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 27 (1B), 299-300.
- RULQUIN H., LE HENAFF L., VERITE R., 1990. Effects on milk protein yield of graded levels of lysine infused into the duodenum of dairy cows fed with two levels of protein. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, suppl. 2, 238s.
- RULQUIN H., HURTAUD Catherine, VERITE R., DELABY L., 1991. Effets du niveau et de la nature des nutriments énergétiques et azotés sur l'aptitude à la transformation fromagère du lait. In : Qualité des laits à la production et aptitude fromagère Journées scientifiques INRA ENSAR, Rennes 23-24 janvier.
- SCHINGËTHE D. J., CASPER D. P., YANG C., ILLG D. J., SOMMERFELT 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 (1), 173-180.
- SCHWAB C. G., SATTER L. D., CLAY A. B., 1976. Responses of lactating cows to abomasal infusion of amino acids. *J. Dairy Sci.*, 58 (7), 1254-1270.
- SCHWAB C.G., BOZAK C.K., MESBAH M.M., 1988. Performance of cows in mid-lactation receiving lysine and methionine by duodenal infusion. *J. Dairy Sci.*, 71 (Suppl. 1), 290-(abstr.).
- SCHWAB C.G., BOZAK C.K., WHITEHOUSE N.L., OLSON V.M., 1989. Extent of lysine limitation in mid lactation cows fed a corn-based ration. *J. Dairy Sci.*, 72 (Suppl. 1), 506-(abstr.).
- SEYMOUR W.M., POLAN C.E., HERBEIN J.H., 1990. Effects of dietary protein degradability and casein or amino acid infusions on production and plasma amino

---

## Summary

---

***Factors affecting the responses in milk yield and milk composition of dairy cows to postruminal supplies of methionine and lysine : a review.***

The purpose of this review was to determine the responses of dairy cows to postruminal supplies of methionine and lysine and their factors of variation. Published data (121) related to postruminal (AA infusions and protected AA) Met and/or Lys supplies and their effects on milk yield and milk composition were analysed. Broadly, postruminal AA supply increases milk protein and casein content. This increase is much higher when Met and Lys are associated (1.1 g/kg) than when they are not (0.4 g/kg). When given together, the response to these AA is greater with high maize diets

(1.1 g/kg) than with low maize diets (0.7 g/kg). With high maize diets, the response is lower (0.9 g/kg) with low nitrogen rations than with high nitrogen rations (1.3 g/kg). With the latter rations the response increases proportionally with the amount of lysine (0.05 g/kg per gram of additional lysine). With this type of diet, postruminal Lys and Met supply during the first 9 weeks of lactation significantly increase the milk yield (0.7 kg/d). Finally, compared to responses obtained with casein infusions (all AA included), Met and Lys explain alone 21 % of milk, 58 % of protein yield and nearly 100 % of protein content responses.

RULQUIN H., 1992. Intérêts et limites d'un apport de méthionine et de lysine dans l'alimentation des vaches laitières. INRA Prod. Anim., 5 (1), 29 - 36 .