

QUOI DE NEUF DANS LE NOUVEAU NRC?

Daniel LEFEBVRE, Ph.D., agronome
PATLQ inc.
Sainte-Anne-de-Bellevue

Conférence préparée en collaboration avec :

Doris PELLERIN, Ph.D., agronome
Professeur en sciences animales
Agri-Gestion Laval, Université Laval, Québec



INTRODUCTION

Le « NRC » est une publication qui, depuis longtemps, constitue la base des recommandations alimentaires en Amérique du Nord et du Sud. La nouvelle édition de cette référence incontournable est parue au début de 2001. De quelle façon cette nouvelle parution changera-t-elle la façon dont on calcule les rations des vaches laitières? Quels sont les nouveaux principes à la base de ces recommandations? Comment changeront-ils la façon dont on alimente nos vaches? Nous tenterons ici d'apporter quelques éléments de réponse.

Tout d'abord, NRC est l'abréviation du « National Research Council » (le Conseil national de recherche), un organisme non gouvernemental américain sans but lucratif dont le mandat consiste à rassembler les scientifiques de tous horizons pour favoriser l'avancement de la connaissance et conseiller le gouvernement fédéral américain. C'est sous l'égide du Conseil sur l'agriculture et les ressources naturelles que le comité sur la nutrition animale publie la série « Nutrient Requirements of Domestic Animals » (Besoins nutritifs des animaux domestiques) dont fait partie le « Nutrient Requirements of Dairy Cattle » (Besoins nutritifs des bovins laitiers) et dont la septième révision vient de paraître. La première édition, parue en 1945, comptait 12 pages et listait les nutriments connus à l'époque ainsi qu'une estimation des besoins alimentaires. Un sous-comité de 11 scientifiques a été nommé en 1997 avec pour tâche de faire une revue exhaustive des études publiées depuis la parution de la dernière révision, qui datait de 1989, et de réviser les besoins nutritionnels en fonction de ces nouvelles connaissances.

Le guide qui en résulte fait le point sur l'état des connaissances qui permettent de décrire les besoins nutritifs des bovins laitiers et comment les membres du comité sont arrivés aux besoins qu'ils proposent et les validations effectuées. Le guide est aussi accompagné d'un logiciel qui permet d'évaluer les rations en fonction des besoins nutritifs de toute catégorie de bovins laitiers. C'est en fait ce logiciel qui permet de déterminer les besoins d'un animal donné. En effet, l'état des connaissances en nutrition suggère que les besoins nutritifs d'un animal sont dynamiques, c'est-à-dire que plusieurs facteurs reliés à l'animal, l'environnement dans lequel il se trouve et la ration qu'il consomme interagissent pour déterminer la quantité requise d'un nutriment donné. Ce dynamisme est difficilement rendu par l'utilisation de tableaux statiques de besoins comme ceux auxquels les éditions antérieures nous avaient habitués. Les besoins et les recommandations établies par le comité sont toujours basés uniquement sur des résultats de recherche publiés dans des revues scientifiques avec comité de révision, assurant une validité des bases sur lesquelles reposent ces recommandations.

CONSOMMATION DE MATIÈRE SÈCHE

La quantité de matière sèche qu'une vache consomme constitue toujours la prémissse de base de l'équilibre d'une ration. Celle-ci détermine la densité nutritionnelle, c'est-à-dire la concentration de chaque nutriment, requise pour combler les besoins nutritifs de l'animal. L'édition précédente ne proposait pas vraiment d'équation permettant d'estimer la consommation volontaire de matière sèche (CVMS). On présumait plutôt que la vache consomme la ration qui lui est offerte jusqu'à ce qu'elle ait comblé ses besoins énergétiques, de sorte que la consommation de matière sèche estimée était le quotient du nombre de mégacalories d'énergie nette requise par la vache divisé par une densité énergétique présumée de la ration. L'édition 2001 propose de nouvelles équations de prédiction de CVMS. Pour les vaches en lactation, les facteurs qui influencent cette prédiction sont bien sûr le poids de la vache et son niveau de production, mais aussi le nombre de jours depuis le vêlage. Cette dernière composante de l'équation permet de modeler la plus faible consommation des vaches en début de lactation. Le tableau 1 compare les niveaux d'ingestion prédits par le modèle du NRC 2001 à ceux suggérés par l'édition 1989. On y constate qu'en général, la CVMS estimée aujourd'hui est supérieure à ce que présumait l'édition précédente du guide. La majoration varie de 3 à 15 % et est plus importante à de faibles niveaux de production. La prédiction inclut également un ajustement pour la consommation en début de lactation. Ce multiplicateur est illustré à la figure 1. On constate que la prédiction est très sensible au nombre de jours depuis le vêlage, surtout en tout début de lactation. L'édition 1989 suggérait une diminution de 18 % de la CVMS en début de lactation, sans spécifier le nombre de jours en lactation pour lesquels cette correction s'appliquait. A titre de comparaison, la présente édition propose une correction, telle qu'illustrée à la figure 1, qui varie de 40 % pour la première semaine pour devenir inférieure à 1 % après 15 jours, la valeur de 18 % correspondant à la cinquième semaine de lactation. La figure 2 montre la courbe de CVMS pour la lactation complète, en fonction de la courbe de lactation de référence d'une vache multipare produisant 10 000 kg de lait par lactation. Le modèle fait appel à la même équation pour prédire la CVMS des primipares et des multipares. Il assume que les différences de consommation observées sont reflétées par le poids vif et la production de lait, qui servent de variables indépendantes à l'équation de prédiction.

Tableau 1. Comparaison des niveaux de consommation de matière sèche (CVMS) prédictes par les éditions 2001 et 1989

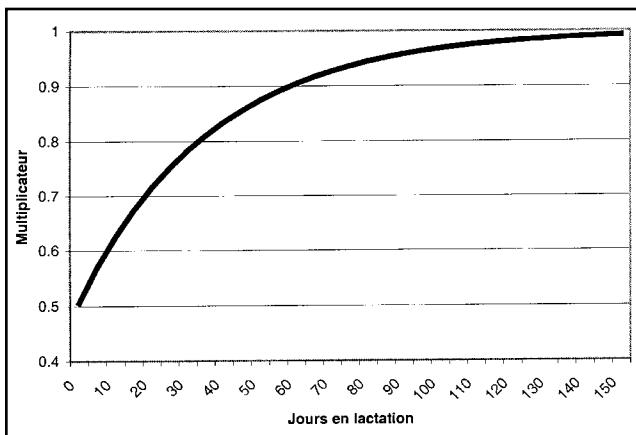
| Poids vif (kg) | Lait ¹ (kg) | CVMS 2001 ² | | CVMS 1989 | |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------|------------------|
| | | kg | %PV ³ | kg | %PV ³ |
| 500 | 20 | 17,7 | 3,5 | 16,0 | 3,2 |
| 500 | 25 | 19,5 | 3,9 | 17,5 | 3,5 |
| 500 | 30 | 21,4 | 4,3 | 19,5 | 3,9 |
| 600 | 25 | 21,0 | 3,5 | 19,2 | 3,2 |
| 600 | 35 | 24,8 | 4,1 | 22,2 | 3,7 |
| 600 | 45 | 28,5 | 4,7 | 25,8 | 4,3 |
| 700 | 45 | 29,9 | 4,3 | 26,6 | 3,8 |

¹ Lait corrigé à 4 % de matière grasse

² Estimée à 150 jours en lait

³ Consommation de matière sèche exprimée en pourcentage du poids vif

Figure 1. Multiplicateur d'ajustement de la consommation de matière sèche en début de lactation



Bien que la prédiction de la CVMS par le modèle soit très robuste, l'utilisation d'une valeur réelle mesurée demeure de loin préférable pour permettre une évaluation la plus précise possible d'une ration.

Le modèle décrit aussi la diminution de consommation à l'approche du vêlage. La figure 3 illustre la diminution ainsi prédictée, soit une chute de 25 % lors de la dernière semaine de gestation par rapport à la consommation trois semaines avant le vêlage.

BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Bien que, par définition, l'énergie ne soit pas un nutriment mais bien une qualité ou une propriété des aliments ingérés par un animal, il demeure que c'est bien souvent le facteur le plus limitant en nutrition des bovins laitiers. C'est pourquoi une grande importance est accordée à l'énergie dans cette édition.

Figure 2. Courbe illustrant la CVMS d'une vache de 650 kg et produisant 10 000 kg au cours d'une lactation

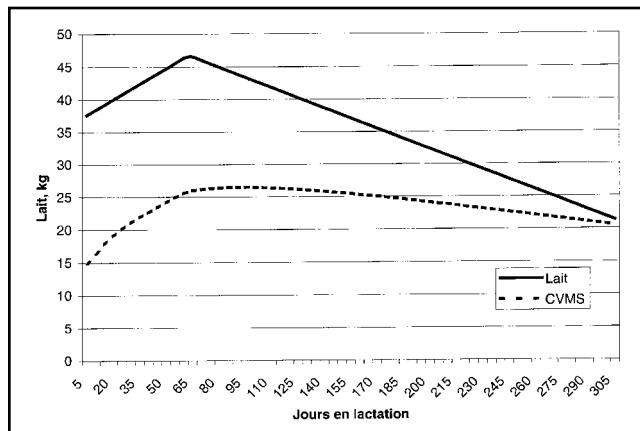
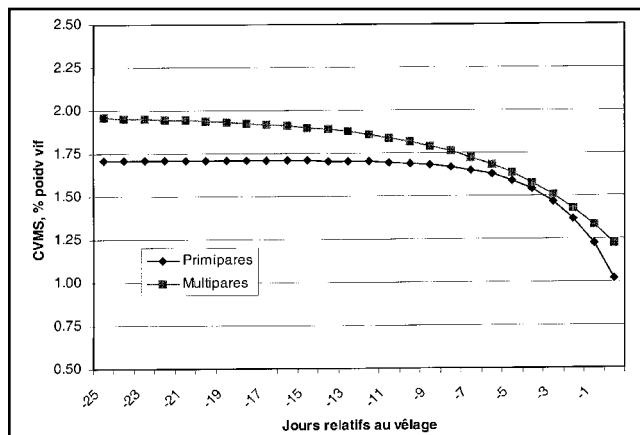


Figure 3. Prédictions de CVMS pré-partum en pourcentage du poids vif pour les vaches primipares et multipares



Tout comme pour l'édition précédente, les besoins énergétiques sont exprimés sur une base d'énergie nette et représentent la somme des besoins pour l'entretien, la croissance, la gestation, la lactation et la variation des réserves corporelles. Ces calculs ne font l'objet que de raffinements mineurs. Par exemple, les besoins énergétiques pour la production de lait étaient auparavant déterminés en fonction de la teneur en matière grasse du lait. Ce calcul tient maintenant compte non seulement du gras, mais également de la protéine et, si disponible, du lactose, c'est-à-dire de tous les composants du lait qui influencent sa valeur énergétique. Pour les vaches ayant une composition du lait standard, la valeur énergétique du lait change peu puisque la prédiction de l'édition précédente, basée uniquement sur le gras, présumait d'un rapport standard entre les constituants du lait. Cependant, avec la tendance vers une sélection et une alimentation favorisant la protéine du lait au détriment du gras, la prise en compte des valeurs réelles de composition du lait assure un maximum de précision. Le tableau 2 illus-

Tableau 2. Valeur énergétique du lait (Mcal EN_L/kg)

| Gras (%) | Protéine (%) | Ratio | EN _L (Mcal/kg) | |
|----------|--------------|-------|---------------------------|------|
| | | | 2001 | 1989 |
| 3,5 | 3,0 | 0,86 | 0,68 | 0,69 |
| 3,5 | 3,3 | 0,94 | 0,70 | 0,69 |
| 4,0 | 3,0 | 0,75 | 0,73 | 0,74 |
| 4,0 | 3,3 | 0,83 | 0,74 | 0,74 |
| 4,5 | 3,5 | 0,78 | 0,80 | 0,78 |
| 4,5 | 3,8 | 0,84 | 0,82 | 0,78 |

tre l'impact de la composition sur la valeur énergétique de chaque kilogramme de lait produit.

Le calcul de la valeur énergétique des réserves corporelles, c'est-à-dire la quantité d'énergie que la vache tire de la perte d'un kilogramme de poids vif ou la quantité d'énergie requise pour qu'une vache gagne un kilogramme de poids, a également été raffiné. Ainsi, plutôt que de présumer une valeur énergétique fixe, celle-ci varie plutôt en fonction de l'état de chair de l'animal, et donc de sa composition corporelle. En effet, plus l'état de chair est élevé, plus la proportion de gras dans chaque kilogramme de poids vif est importante et plus la valeur énergétique de ce kilogramme de poids est élevée. Concrètement, cela signifie qu'il faut plus d'énergie pour faire passer une vache d'un état de chair de 3 à 4 que de 2 à 3. Le tableau 3 montre l'impact de cet ajustement. À titre comparatif, l'édition 1989 présumait d'une valeur fixe de 4,92 Mcal d'EN_L fournies par la perte d'un kilogramme de poids vif alors que pour un gain d'un kilogramme, 5,12 Mcal d'EN_L étaient requis.

Pour la gestation, le calcul de la dépense énergétique qui y est associée a également fait l'objet de raffinements. Comparativement à la majoration fixe appliquée aux 60 derniers jours de gestation dans l'édition de 1989, l'ajustement proposé par la présente édition augmente avec la progression de la gestation au cours du dernier trimestre. Pour notre vache de 600 kg, les besoins énergétiques associés à la gestation sont de 2,6 Mcal par jour 90 jours avant le vêlage pour passer graduellement à 3,9 Mcal par jour en fin de gestation. À titre comparatif, cet ajustement était de 2,9 Mcal pour les 60 jours précédant le vêlage dans l'édition de 1989. C'est donc en moyenne une augmentation de 17 %, mais c'est au cours des dernières semaines de gestation que cette augmentation est la plus importante.

Des ajustements peuvent également être apportés pour tenir compte de la dépense énergétique des vaches au pâturage. Les besoins énergétiques sont majorés en fonction de la distance à parcourir entre le pâturage et le centre de traite et de la topographie du pâturage. Par exemple, dans le cas d'un pâturage situé à 500 m du lieu de traite, les besoins énergétiques d'entretien d'une vache de 600 kg traite deux fois par jour (faisant donc

Tableau 3. Valeur énergétique des changements de poids en fonction de l'état de chair

| ÉC ¹ | Gras ² | EN _L (Mcal/kg) | | |
|-----------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|
| | | Tissus ³ | Perte ⁴ | Gain ⁵ |
| 1,5 | 7,54 | 5,72 | 3,44 | 4,01 |
| 2,0 | 11,30 | 6,41 | 3,83 | 4,50 |
| 2,5 | 15,07 | 6,98 | 4,29 | 4,90 |
| 3,0 | 18,84 | 7,61 | 4,68 | 5,34 |
| 3,5 | 22,61 | 8,32 | 5,10 | 5,84 |
| 4,0 | 26,38 | 8,88 | 5,57 | 6,23 |
| 4,5 | 30,15 | 9,59 | 5,95 | 6,73 |

¹ État de chair selon la notation de 1 à 5

² Contenu en gras de la carcasse

³ Énergie contenue dans 1 kg de tissus

⁴ Énergie nette de lactation fournie par la perte d'un kg de poids vif

⁵ Énergie nette de lactation requise pour un gain de 1 kg de poids vif

le trajet quatre fois par jour pour une distance totale parcourue de deux kilomètres) seront majorés d'environ 12 %, soit environ 1,2 Mcal. Si ce pâturage est en terrain montagneux, cet ajustement sera beaucoup plus important, soit de près de 50 % des besoins d'entretien, ou environ 4,9 Mcal.

Quantitativement, ces ajustements aux calculs des besoins énergétiques sont, globalement, plutôt mineurs. C'est surtout en ce qui a trait à l'apport d'énergie de la ration que la nouvelle parution du guide innove. Les valeurs énergétiques des aliments présentées dans la version 1989, exprimées en énergie nette, étaient dérivées de valeurs d'unités nutritives totales (UNT) déterminées expérimentalement il y a plusieurs années. Plusieurs de ces valeurs avaient de plus été obtenues chez des moutons ou des bovins de boucherie, et ce, à de faibles niveaux d'ingestion, puis extrapolées aux bovins laitiers. Une correction fixe de 8 % était appliquée pour refléter la diminution de la digestibilité en fonction du taux d'ingestion de matière sèche.

La nouvelle édition adopte une toute nouvelle approche qui est basée sur la composition chimique des aliments et la digestibilité de fractions chimiques énergétiquement uniformes. Ainsi, les valeurs énergétiques, exprimées en Unités Nutritives Totales (UNT) des fractions digestibles des lipides, protéines, glucides non fibreux et de la fibre sont sommées pour obtenir la valeur énergétique, en UNT, d'un aliment, selon l'équation suivante :

$$\text{UNT}(\%) = \text{dPB} + \text{dNDF} + \text{dGNF} + 2,25 \times \text{dAG} - 7$$

où :

UNT (%) = valeur énergétique d'un aliment à un niveau d'ingestion égal au besoins d'entretien

dPB = protéine brute digestible

dNDF = fibre par détergent neutre digestible

dGNF = glucides non fibreux digestibles

dEE = acides gras digestibles

La digestibilité de la protéine peut être estimée à partir de la mesure d'azote lié à la fibre ADF (ADF-N), sauf pour les aliments d'origine animale. La digestibilité de la fibre NDF peut être mesurée *in vitro* ou estimée en fonction de la teneur en lignine de l'aliment. La fraction GNF n'est pas mesurée mais dérivée par différence en soustrayant de la matière sèche totale la teneur en PB, NDF (corrige pour l'azote lié à la fibre NDF, NDF-N), gras et cendres d'un aliment. Une valeur de 98 % est assignée pour la digestibilité de cette fraction. Enfin, la teneur en acides gras des aliments n'est pas analysée de façon routinière, mais peut être estimée à partir de la teneur en extractif éthétré (gras brut) et la digestibilité est présumée égale à 100 %. Le facteur de 2,25 reflète la valeur calorique plus élevée du gras alors que la constante de 7 unités qui est soustraite représente le coût énergétique de la digestion. Le résultat de cette nouvelle approche est que la contribution d'un aliment aux besoins énergétiques d'un animal sera fonction de sa composition réelle et sera donc prédite avec une plus grande précision, en autant que cette composition soit connue.

De plus, une correction variable de la valeur énergétique est appliquée en fonction du taux d'ingestion de matière sèche, dans le but de refléter la diminution de la digestibilité à de hauts taux d'ingestion. En conséquence, la valeur énergétique d'un aliment n'est plus une valeur statique, mais varie en fonction de la ration dont il fait partie et de l'animal qui consomme cette ration. Plus le niveau d'ingestion est élevé, plus la digestibilité et, par conséquent, la valeur énergétique de la ration diminuent. L'ampleur de la diminution augmente également avec la digestibilité intrinsèque de la ration. Pour un niveau d'ingestion donné, une ration hautement énergétique est sujette à une diminution plus grande de sa digestibilité. La figure 4 illustre la correction de la digestibilité d'une ration en fonction de sa valeur énergétique intrinsèque et du niveau d'ingestion de l'animal qui la consomme. Par exemple, pour une ration dosant 75 % d'UNT consommée à raison de 21 kg par jour par un animal dont les besoins seraient comblés par 7 kg de MS (ce qui signifie que l'animal consomme trois fois ses besoins d'entretien, 3X), le facteur d'ajustement de la valeur énergétique de cette ration serait de 0,915.

Par conséquent, selon le modèle du NRC 2001, il n'est pas approprié de présenter une valeur énergétique exprimée en énergie nette de lactation pour un aliment pris isolément. En effet, une valeur d' EN_L ne peut être attribuée qu'à une ration complète et n'est valide que pour un niveau d'ingestion donné. À la limite, on peut attribuer une valeur d' EN_L à un aliment donné lorsqu'il fait partie de cette ration. Il est donc envisageable qu'à moyen terme, les rapports d'analyses d'aliments ne rapportent pas de valeur d'énergie nette, mais seule-

ment une valeur d'UNT ou d'énergie digestible, et ce, à un niveau d'ingestion donné, présumément 1X.

Il faut également souligner que pour permettre une exploitation optimale des concepts mis de l'avant par NRC 2001, les laboratoires devront être en mesure de fournir des données additionnelles. Une des plus importantes, du moins pour les fourrages, est la lignine, qui sert à prédire la digestibilité de la NDF. Alternativement, la valeur de digestibilité elle-même pourrait être utilisée. L'azote lié à la fibre ADF est couramment rapporté et sert à calculer la digestibilité de la protéine brute. Cependant, pour calculer les GNF adéquatement, il est préférable d'obtenir la mesure d'azote lié à la fibre NDF de même que les cendres.

Comme certains traitements appliqués au aliments modifient la disponibilité de l'amidon, sans pour autant que la composition chimique reflète ce changement, le comité a également introduit un facteur d'ajustement pour le traitement (Processing Adjustment Factor, PAF). Celui-ci, appliqué aux sources d'amidon, permet de mieux refléter une digestibilité ruminale plus élevée et qui n'est pas reflétée par l'analyse chimique. Ce facteur majore par exemple la valeur énergétique du maïs humide ou floonné par 4 % par rapport au maïs sec moulu. Ce facteur est établi de façon empirique en se basant sur des études ayant comparé la digestibilité ruminale de l'amidon par rapport au maïs sec moulu, utilisé comme standard. Le PAF n'est appliqué qu'à la fraction GNF de l'aliment.

En général, toutes choses étant égales, les valeurs énergétiques des fourrages et des concentrés fibreux évalués par le nouveau modèle sont inférieures à celles de l'édition précédente; il y en général peu de changement pour les concentrés à base d'amidon alors que les concentrés protéiques voient leur valeur énergétique majorée substantiellement. Le tableau 4 permet de

Figure 4. Ajustement de la digestibilité de la ration en fonction de la valeur énergétique intrinsèque de la ration et du niveau d'ingestion

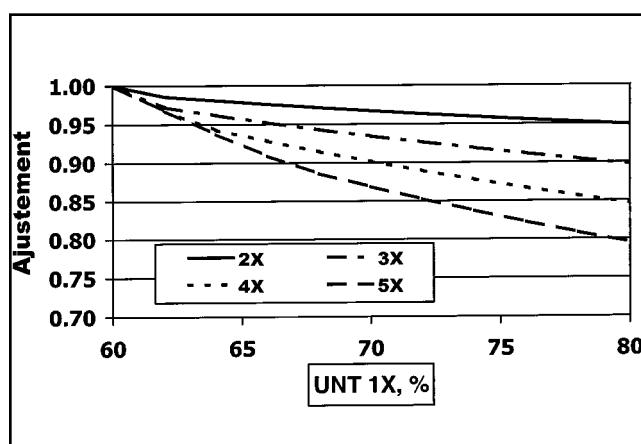


Tableau 4. Valeur énergétique des aliments à un niveau d'ingestion 3X pour quelques aliments choisis et différence entre les versions 1989 et 2001 du NRC

| Aliment | EN _L (Mcal/kg) | | % Différence |
|------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------|
| | 1989 ¹ | 2001 ² | vs 1989 |
| Foin luzerne, 28,6 %ADF | 1,47 | 1,38 | -6,1 |
| Foin luzerne, 33,4 %ADF | 1,36 | 1,28 | -5,9 |
| Foin luzerne, 39,5 %ADF | 1,21 | 1,13 | -6,6 |
| Ensilage luzerne 30,2 %ADF | 1,43 | 1,34 | -6,3 |
| Ensilage luzerne 35,2 %ADF | 1,31 | 1,22 | -6,9 |
| Ensilage luzerne 40,9 %ADF | 1,18 | 1,10 | -6,8 |
| Foin Graminées 31,4 %ADF | 1,45 | 1,37 | -5,5 |
| Foin Graminées 36,9 %ADF | 1,27 | 1,23 | -3,1 |
| Foin Graminées 41,6 %ADF | 1,12 | 1,11 | -0,9 |
| Ensilage Graminées 32,9 %ADF | 1,40 | 1,29 | -7,9 |
| Ensilage Graminées 35,2 %ADF | 1,33 | 1,16 | -12,8 |
| Ensilage Graminées 41,1 %ADF | 1,14 | 1,05 | -7,9 |
| Ensilage de maïs, 28,1 %ADF | 1,45 | 1,60 | -9,4 |
| Maïs grain moulu | 1,96 | 2,01 | +2,6 |
| Maïs grain roulé | 1,84 | 1,91 | +3,8 |
| Maïs grain humide roulé | 2,04 | 2,01 | -1,5 |
| Orge | 1,94 | 1,86 | -4,1 |
| Pulpe de betterave | 1,79 | 1,47 | -17,9 |
| Tourteau de soya 48 | 2,01 | 2,21 | +10,0 |
| Fève soya entière | 2,11 | 2,75 | +30,3 |
| Farine de poisson | 1,67 | 2,33 | +39,5 |

¹ Pour les fourrages, les équations du CPAQ (1990) ont été appliquées à des fourrages dont la valeur de fibre ADF correspond aux valeurs rapportées dans le tableau 15-1 de NRC, 2001. Pour les autres aliments, il s'agit de la valeur d'ENL telle que rapportée au tableau 7-1 de NRC, 1989.

² Ces valeurs sont celles rapportées au tableau 15-1 de NRC (2001) calculées en fonction de la composition chimique moyenne et une valeur d'UNT de la ratio totale de 74 %, à un taux d'ingestion de 3X les besoins d'entretien.

comparer la valeur énergétique de quelques aliments telle qu'établie par les éditions 1989 et 2001. Compte tenu de la proportion qu'occupe chacune de ces catégories d'aliments, la valeur énergétique d'une ration typique est donc plus faible par rapport aux estimations précédentes, ce qui répond à une critique de l'édition précédente qui surestimaît l'apport énergétique des rations par rapport aux besoins.

BESOINS PROTÉIQUES

Les besoins protéiques de l'animal sont établis en tenant compte de quatre entités. Le besoin ultime de l'animal est exprimé en termes de protéine métabolisable, c'est-à-dire la quantité de protéine vraie qui peut être digérée dans l'intestin grêle de l'animal pour éventuellement être absorbée sous forme d'acides aminés. Cette notion est similaire à celle de protéine absorbée de l'édition 1989. C'est donc, à vrai dire, un besoin d'acides aminés qui, ultimement, doit être comblé, le besoin de protéine métabolisable ne servant réellement qu'à combler le besoin en acides aminés absorbés. La protéine métabolisable devrait donc présenter un profil d'acides aminés se rapprochant de la proportion dans laquelle ceux-ci sont requis, conformé-

ment au concept de « protéine idéale » tel qu'adopté en nutrition des monogastriques. La protéine métabolisable provient de deux sources principales, soit la protéine des aliments échappant à la dégradation ruminal (protéine non dégradée au rumen, PNDR) qui vient compléter l'apport de la protéine d'origine microbienne. Enfin, les besoins d'azote des microorganismes du rumen doivent être comblés par la protéine dégradée au rumen (PDR).

Au chapitre des besoins de protéine métabolisable, la méthode retenue pour les établir est ici aussi la méthode factorielle, c'est-à-dire que les besoins sont établis pour chaque fonction vitale (entretien, lactation, gestation et croissance) et sommés pour obtenir le besoin total de l'animal. Comme pour l'énergie, ces modifications sont quantitativement mineures. Parmi les plus importantes, mentionnons que le besoin associé à la gestation a fait l'objet de révisions et augmente avec l'avancement de la gestation, et est en moyenne 50 % plus élevé que ce que suggérait l'édition 1989. Le besoin pour la lactation tient quant à lui compte du taux de protéine du lait, plutôt que de se baser sur le taux de gras et une relation fixe avec le taux de protéine.

Comme pour l'énergie, donc, c'est au niveau de l'apport de protéine métabolisable de la ration que

l'évolution est la plus importante. Rappelons que la publication de 1989 avait pour la première fois proposé (basé sur les travaux d'une publication antérieure du NRC sur la nutrition protéique, NRC, 1985) de distinguer entre, d'une part, les besoins de protéine dégradée au rumen pour satisfaire les besoins en azote de la flore ruminale, et d'autre part, les besoins de protéine non dégradée au rumen pour combler la différence entre les besoins de protéine métabolisable de l'animal et l'apport de protéine métabolisable d'origine microbienne. C'était à l'époque une évolution importante par rapport aux besoins de protéine brute déterminés auparavant (NRC, 1978). Cependant, il existait peu de données décrivant la dégradation ruminale de la protéine des aliments. Dans l'édition 1989, des valeurs moyennes de protéine non dégradée provenant d'estimation *in vivo* et *in situ* étaient rapportées pour quelques aliments couramment utilisés. Cette absence relative de données a stimulé un important effort de recherche en nutrition protéique dont les fruits ont servi à élaborer la publication 2001 du guide. Tout d'abord, prédire la quantité de protéine métabolisable que fournit la flore microbienne est d'une importance fondamentale puisque celle-ci fournit la majorité de la protéine métabolisable, une protéine d'excellente qualité. Cette valeur sert ensuite à évaluer les besoins de protéine dégradée au rumen (PDR) pour combler les besoins d'azote des microorganismes et de protéine non dégradée au rumen (PNDR) pour combler la différence entre les besoins de protéine métabolisable de l'animal et la protéine métabolisable fournie par la protéine microbienne. Le besoin en protéine brute de la ration est tout simplement la somme des quantités requises de PDR et PNDR. Une toute nouvelle formule basée sur l'ingestion d'énergie corrigée pour le niveau d'ingestion a été adoptée pour cette prédiction. Des recherches récentes avaient en effet démontré que l'équation utilisée par l'édition précédente surestimait la production de protéine microbienne, surtout à de hauts niveaux d'ingestion. Cependant, il a également été démontré que les besoins de protéine dégradée au rumen pour satisfaire la flore ruminale étaient sous-évalués, de sorte que les besoins de protéine dégradée au rumen sont en général majorés pour un niveau donné d'ingestion d'énergie par rapport à la publication de 1989.

Bien que les besoins de protéine non dégradée aient été sous évalués en raison de la surestimation de la protéine microbienne, l'impact de cette différence dépend en grande partie des aliments composant la ration, car la proportion de la protéine des aliments qui échappe à la dégradation ruminale était sous-évaluée pour certains aliments alors que, pour d'autres, elle était surévaluée. En effet, comparativement aux valeurs fixes proposées par la publication de 1989, l'édition 2001 utilise une approche dynamique de calcul des valeurs de protéine non dégradée au rumen. En effet, plus le temps de résidence d'un aliment dans le rumen est court, plus la proportion de sa protéine qui échappera à la dégradation ruminale sera importante. Le modèle mécaniste permettant de déterminer la proportion de la protéine dégradée au rumen repose sur :

- 1) le fractionnement de la protéine brute d'un aliment en trois fractions :
 - la fraction A, soluble dans la liqueur ruminale et présumée entièrement dégradée au rumen
 - la fraction B, potentiellement dégradée au rumen à un taux de dégradation, kd, spécifique à chaque aliment
 - la fraction C, échappant entièrement à la dégradation ruminale
- 2) le taux de passage de l'aliment, déterminé en fonction du niveau d'ingestion et de la proportion de concentrés de la ration pour trois catégories d'aliments :
 - les fourrages longs et secs
 - les fourrages hachés et humides
 - les concentrés

Il en résulte que, comme pour l'énergie, la valeur de protéine non dégradée de chaque aliment est non plus fixe mais variable selon le niveau d'ingestion et donc du taux de passage des aliments. Le tableau 5 présente une comparaison des valeurs de protéine non dégradée au rumen listées dans l'édition 1989 à celles calculées par le modèle de l'édition 2001 à un niveau d'ingestion de 4 % du poids vif. En général, ces valeurs sont plus élevées que les valeurs proposées en 1989, surtout pour les aliments protéiques et à de hauts niveaux d'ingestion.

Un autre gain de précision provient du fait que la digestibilité intestinale de la PNDR est spécifique à chaque aliment. Ceci constitue une amélioration par rapport à l'édition 1989 qui présumait une digestibilité

Tableau 5. Comparaisons de la proportion de protéine non dégradée au rumen (PNDR) entre les éditions 1989 et 2001

| Aliment | PNDR (%PB) | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | 1989 ¹ | 2001 ² |
| Foin de luzerne | 28 | 20 |
| Ensilage de luzerne | 23 | 21 |
| Ensilage de graminées | 29 | 27 |
| Ensilage de maïs | 31 | 35 |
| Maïs grain sec roulé | 60 | 47 |
| Orge | 27 | 24 |
| Tourteau de soya | 35 | 42 |
| Tourteau de canola | 28 | 36 |
| Farine de poisson | 60 | 66 |

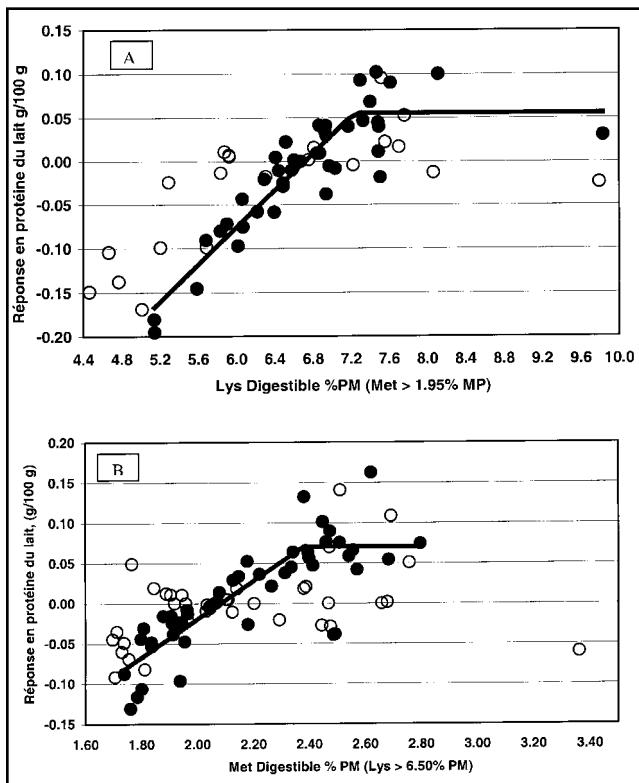
¹ Valeur moyenne telle que listée au tableau 7-3, NRC (1989)

² Valeur calculée pour une ration contenant 50 % de concentrés à un niveau d'ingestion de 4 % du poids vif, telle que listée au tableau 15-2a, NRC (2001)

Tableau 6. Digestibilité intestinale de la protéine non dégradée au rumen d'aliments choisis

| Aliment | Digestibilité (%) | Aliment | Digestibilité (%) |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| Foin de légumineuses | 70 | Farine de sang, « ring dried » | 80 |
| Ensilage de légumineuses | 65 | Drèche de brasserie, humide | 85 |
| Foin de graminées | 65 | Tourteau de canola | 75 |
| Ensilage de graminées | 60 | Fin gluten de maïs | 92 |
| Ensilage de maïs | 70 | Drèche de distillerie | 80 |
| Maïs | 90 | Farine de plume | 65 |
| Orge | 85 | Farine de poisson | 90 |
| Pulpe de betterave | 80 | Fève soya torréfiée | 85 |
| Écales de soya | 70 | Tourteau de soya | 93 |

Figure 5. Courbes de réponse en protéine du lait à la dose de Lysine (A) et de Méthionine (B) dans la protéine métabolisable, montrant des proportions optimales de Lys et de Met de 7,2 et 2,4 %, respectivement, de la protéine métabolisable



constante de 85 %. Le tableau 6 présente les valeurs de digestibilité intestinale de la fraction non dégradée au rumen de la protéine de quelques aliments choisis.

Bien que le modèle prédisse le flux d'acides aminés essentiels à l'intestin, le comité a jugé que l'information disponible à ce jour est insuffisante pour déterminer les besoins en acides aminés. Cependant, le modèle prédit les flux d'acides aminés à l'intestin les acides aminés

essentiels. De plus, en utilisant des courbes reliant la réponse en concentration de protéine dans le lait à la proportion de lysine et de méthionine – les deux acides aminés considérés les plus limitatifs en nutrition de la vache laitière – dans la protéine absorbée, le comité suggère que ces proportions devraient être de 7,2 et 2,4 %, respectivement, soit un ratio de 3 pour 1, pour optimiser l'utilisation des acides aminés absorbés (figure 5).

GLUCIDES ET GRAS

Bien que ces entités nutritives ne fassent pas l'objet de besoins en tant que tel, leur importance en nutrition de la vache laitière a incité le comité à formuler quelques recommandations à leur sujet. En ce qui a trait aux glucides, ces recommandations concernent la quantité minimale de fibre que doit contenir une ration pour assurer le maintien d'un environnement ruminal propice à la croissance microbienne optimale. La quantité de glucides non fibreux (GNF) maximale est à peu de chose près inversement reliée à la teneur en fibre de la ration, de sorte que les recommandations concernant l'un et l'autre sont intimement reliées. Bien qu'il existe un intérêt grandissant, tant en recherche que sur le terrain, pour la considération de l'effectivité de la fibre en fonction de la taille des particules qui la constituent, le comité a jugé que les données disponibles et la standardisation des méthodes d'évaluation étaient insuffisantes pour établir avec certitude un besoin de fibre dite « physiquement effective ».

Le guide présente donc des recommandations qui reposent sur la source de fibre, la fibre fournie par les aliments autres que les fourrages étant considérée comme ayant une effectivité correspondant à la moitié de celle provenant des fourrages. À la base de ces recommandations, il est établi que les rations devraient contenir au minimum 25 % de fibre NDF, et que les trois quarts de cette fibre devraient provenir des fourrages, une recommandation inchangée par rapport à l'édition précédente. Ces prémisses servent donc à établir le contenu minimum de NDF recommandé dans les

rations en fonction de la quantité de NDF provenant des fourrages. Ces recommandations sont présentées au tableau 7. Elles sont assorties de mises en garde quant aux facteurs qui peuvent faire varier à la hausse ces teneurs minimales de NDF : fourrages hachés finement, source d'amidon plus fermentescible que le maïs sec moulu, alimentation servie autrement qu'en ration totale mélangée. Il en va de même pour la limite supérieure de la teneur en GNF de la ration ; doit être ajustée en fonction de la disponibilité ruminale de l'amidon, mais aucune relation quantitative n'est fournie par le comité.

Pour ce qui est du gras dans l'alimentation des vaches laitières, le travail du comité s'est surtout concentré sur l'établissement de coefficients de digestibilité pour les différentes sources de gras afin de mieux quantifier leur contribution aux besoins énergétiques des vaches. Le comité recommande néanmoins une teneur maximale en gras de 6 à 7 % de la matière sèche de la ration afin d'éviter les effets négatifs sur la consommation qui viendraient annuler l'apport supplémentaire d'énergie que permet l'inclusion de gras.

MINÉRAUX ET VITAMINES

Ici aussi, on note beaucoup de changements. Comme pour les nutriments organiques (protéine, énergie), les besoins sont calculés par la méthode factorielle, c'est-à-dire que l'on somme les besoins pour l'entretien, la croissance, la gestation et la production pour obtenir la quantité totale du minéral que l'animal doit absorber pour combler ses besoins. C'est dans ce cas-ci un changement qui donne lieu à des différences significatives quant aux besoins de minéraux absorbés pour plusieurs minéraux. Dans un deuxième temps, et c'est là l'innovation la plus importante, on applique un coefficient d'absorption (CA, la proportion du minéral contenu dans un aliment qui peut être absorbée) spécifique

à chaque catégorie d'aliment pour évaluer si l'apport de la ration comble le besoin. Pour le phosphore, par exemple, l'apport des fourrages (CA = 64 %) et des grains (CA = 70 %) est moins bien absorbé que le phosphore provenant de la plupart des sources minérales (CA = 75 à 90 % pour les sources les plus couramment utilisées). On utilisait auparavant un coefficient d'absorption unique pour toute la ration et celui-ci avait été établi à 50 %. Le tableau 8 compare les coefficients d'absorption utilisés par diverses autres publications de besoins nutritifs. Il en résulte donc que la plupart des rations formulées selon le nouveau guide contiendront moins de phosphore que ce que préconisaient les normes précédentes, bien que le besoin calculé de phosphore absorbé requis soit plus élevé. Ces recommandations sont en conformité avec les résultats de recherche récents qui montrent que même sur des études à très long terme, les vaches peuvent être alimentées avec des rations dont la teneur en phosphore est inférieure à celle recommandée par NRC 1989 sans compromettre la productivité, la santé et la reproduction. Ces recommandations sont très pertinentes dans un contexte où les rejets de phosphore dans l'environnement font l'objet de restrictions de plus en plus sévères. Le phosphore alimenté en excès se retrouve inéluctablement dans l'environnement.

Les concentrations typiques de quelques autres éléments minéraux, notamment le calcium, le magnésium, le fer et le manganèse, se trouvent également réduites dans la plupart des rations formulées selon les normes NRC 2001, alors que les rations devront apporter plus de sodium, de potassium et de zinc qu'auparavant. On doit cependant éviter de généraliser, car les besoins sont de plus établis en quantités par jour et non en densité de la ration, de sorte que la concentration requise dans la ration dépend de la CVMS. De plus, la concentration finale requise dans la ration dépend des sources du minéral utilisées. Le tableau 9 résume les coefficients d'absorption des éléments minéraux selon les sources.

Tableau 7. Recommandations pour la teneur minimale en fibre et le contenu maximal de glucides non fibres dans les rations des vaches laitières en fonction de la fibre NDF fournie par les fourrages¹

| NDF-F ² | NDF minimum | ADF | GNF maximum |
|--------------------|-------------|-----|-------------|
| 19 | 25 | 17 | 44 |
| 18 | 27 | 18 | 42 |
| 17 | 29 | 19 | 40 |
| 16 | 31 | 20 | 38 |
| 15 | 33 | 21 | 36 |

¹ Ces recommandations présument une longueur des particules de fourrages suffisante et que le maïs sec moulu est la source principale de GNF.

² NDF provenant des fourrages

Tableau 8. Coefficients d'absorption du calcium et du phosphore utilisés par diverses publications de besoins nutritifs des bovins laitiers

| Publication | Ca | P |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| ARC (Royaume-Uni) | 0,68 | |
| NRC 1989 (Bovins laitiers) | 0,38 | 0,50 |
| INRA 1989 (France) | 0,35 | 0,60 |
| Allemagne | | 0,70 |
| NRC 1978 | 0,45 | 0,65 |
| NRC 1996 (Bovins de boucherie) | 0,50 | |
| NRC 2001 Fourrages | 0,30 | 0,64 |
| NRC 2001 Concentrés | 0,60 | 0,70 |
| NRC 2001 Minéraux ¹ | 0,70-0,95 | 0,70-0,95 |

¹ Le coefficient d'absorption des minéraux varie en fonction de la source.

Tableau 9. Coefficients d'absorption des éléments minéraux selon la source

| Aliment | Ca | P | Mg | Na | Cl | K | S |
|------------|-----------|-----------|-----------|------|--------------|-----------|-----|
| Fourrages | 0,30 | 0,64 | 0,16 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | N/A |
| Concentrés | 0,60 | 0,70 | 0,16 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | N/A |
| Minéraux | 0,30-0,95 | 0,30-0,90 | 0,30-0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | N/A |
| Aliment | Co | Cu | Fe | I | Mn | Zn | Se |
| Fourrages | N/A | 0,04 | 0,10 | 0,85 | 0,0075 | 0,15 | N/A |
| Concentrés | N/A | 0,04 | 0,10 | 0,85 | 0,0075 | 0,15 | N/A |
| Minéraux | N/A | 0,01-0,05 | 0,40-0,60 | 0,90 | 0,0015-0,012 | 0,10-0,20 | N/A |

Quant aux vitamines, les besoins des vitamines A et E ont été majorés de façon significative alors que ceux pour la vitamine D sont essentiellement inchangés. Bien que les vitamines hydrosolubles fassent l'objet d'un intérêt grandissant, notamment en ce qui a trait à l'acide folique et à la biotine, le comité a jugé que les données étaient encore trop fragmentaires pour établir des besoins.

Le guide contient des chapitres détaillant le calcul du besoin de chaque nutriment pour toutes les catégories de bovins laitiers (les taureaux ne sont toutefois plus inclus dans cette édition) dont la lecture est essentielle à la compréhension et l'interprétation des recommandations. Le guide compte de plus des chapitres des plus intéressants sur l'importance de l'eau, sur certains aspects uniques de la nutrition de la vache laitière (dont la période de transition, les maladies métaboliques et certains additifs alimentaires), la nutrition du jeune veau, le traitement des aliments et la nutrition et l'environnement. Les tables de composition des aliments ont enfin été revues en entier. Dans ces tables, des changements importants sont à noter. Tout d'abord, les valeurs présentées proviennent de laboratoires privés et de données publiées provenant de la littérature scientifique. Pour chaque valeur, la moyenne et l'écart-type sont présentés, de même que le nombre d'observation représentées par ces valeurs. Ces informations permettent à l'usager de porter un jugement sur la représentativité de la moyenne et de la variabilité retrouvée dans la population. Les catégories de fourrages ont également été réaménagées. Plutôt que de catégoriser les fourrages par espèce végétale (luzerne, trèfle, brome, dactyle, etc.), ils sont présentés par type de fourrages (graminées de climat tempéré, légumineuses, mélanges à prédominance de légumineuses, etc.). De plus les stades de maturité sont non plus décrit par le stade physiologique de la plante, mais plutôt par la teneur en fibre NDF. Cette présentation est plus facile d'application en pratique car en présence d'un fourrage récolté, il est difficile d'identifier les espèces en présence et le stade de maturité au moment de la récolte.

La mise en application des nouvelles notions contenues dans ce guide prendra sans doute un certain temps. L'ampleur des changements nécessitera une période d'adaptation qui permettra aux conseillers d'appriover les nouveaux concepts de calcul, aux laboratoires d'offrir les analyses nécessaires au modèle, une validation sur le terrain et une nécessaire concertation des divers intervenants en nutrition des bovins laitiers. En effet, les changements proposés impliquent bien plus qu'une simple modification de quelques paramètres dans un logiciel de formulation; ils imposent entre autres de nouvelles façons de décrire les aliments et leur apport de nutriments à l'animal. Le Comité bovins laitiers du CRAAQ a mis sur pied un groupe de travail rassemblant des représentants de l'ensemble des intervenants qui sont impliqués en nutrition des bovins laitiers dans le but de minimiser la confusion associée à la période de transition et formuler des recommandation quant à la mise en pratique des nouvelles normes proposées dans le NRC 2001. Il ne fait nul doute toutefois que cette parution contribuera grandement à l'application des connaissances les plus récentes en nutrition de la vache laitière.

RÉFÉRENCES

- NRC, 1985. Ruminant Nitrogen Usage. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC, 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Sixth revised edition. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. Washington, DC.

Annexe 1. Évaluation de rations formulées selon les spécifications de NRC 1989 en fonction des besoins calculés par NRC 2001 pour une vache de 680 kg produisant 50 kg de lait (3,5 % m.g., 3,0 % protéine) à 90 jours en lactation. Les quantités d'aliments sont sur une base de matière sèche.

| Composition | A | | B | | C | |
|------------------------------------|------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | Quantité (kg MS) | | | | | |
| Ensilage légumineuses ² | 6,10 | | 6,10 | | 6,69 | |
| Ensilage de maïs ³ | 6,10 | | 6,10 | | 6,69 | |
| Foin graminées ⁴ | 1,76 | | 1,76 | | 1,93 | |
| Mais sec moulu | 8,43 | | 8,43 | | 9,25 | |
| Sels Ca Acides gras | 0,15 | | 0,15 | | 0,16 | |
| Tourteau de soya 48 | 3,17 | | 3,17 | | 3,48 | |
| Farine de poisson | 0,20 | | 0,20 | | 0,22 | |
| Phosphate dicalcique | 0,12 | | 0,12 | | 137 | |
| CVMS | 26,2 | | 26,2 | | 28,6 | |
| | Besoin | Apport | Besoin | Apport | Besoin | Apport |
| EN _L , Mcal | 45,05 | 45,05 | 44,9 | 41,1 | 44,9 | 44,0 |
| EN _L , Mcal/kg | | 1,72 | | 1,57 | | 1,54 |
| PB, g | 4555 | 4583 | 4377 | 4583 | 4532 | 5039 |
| PIND ou PNDR ⁵ , g | 1585 | 1606 | 1801 | 1629 | 1754 | 1844 |
| PID/PDR | 2721 | 2977 | 2576 | 2956 | 2778 | 3207 |
| Prot.absorbée/métabolisable | 3208 | | 3059 | 2913 | 3143 | 3219 |
| Prot. microbm, métab. | 1939 | | 1401 | | 1511 | |
| Calcium absorbé, g | 67 | 67 | 82,6 | 90,2 | 82,6 | 99,9 |
| Calcium total | 176 | 176 | | 176 | | 201,5 |
| Phosphore absorbé | 55,5 | 55,5 | 72,3 | 83,5 | 74,9 | 92,2 |
| Phosphore total | 111 | 111 | | 111 | | 132 |
| Besoins minéraux | Absorbé | Total | Absorbé | Total | Absorbé | Total |
| Magnésium, g | | 65,5 | 9,5 | 47,5 | 9,5 | 47,5 |
| Sodium,g | | 47,1 | 57,3 | 63,6 | 57,3 | 63,6 |
| Chlore, g | | 65,5 | 72,8 | 80,9 | 72,8 | 80,9 |
| Potassium, g | | 262 | 259 | 288 | 259 | 288 |
| Soufre, g | | 52,4 | | 52,4 | | 57,2 |
| Cobalt, mg | | 2,62 | | 2,62 | | 2,86 |
| Cuivre, mg | | 262 | 12,3 | 308 | 12,3 | 308 |
| Fer, mg | | 1310 | 50 | 500 | 50 | 500 |
| Iode, mg | | 15,7 | 10,2 | 12 | 10,2 | 12 |
| Manganèse, mg | | 1048 | 2,86 | 381 | 2,86 | 381 |
| Zinc, mg | | 1048 | 231 | 1537 | 231 | 1537 |
| Sélénium, mg | | 7,86 | | 7,86 | | 8,58 |
| Vitamine A, kUI | 51,7 | | 74,8 | | 74,8 | |
| Vitamine D, kUI | 20,4 | | 20,4 | | 20,4 | |
| Vitamine E, UI | 393 | | 544 | | 544 | |

¹ La ration A est formulée pour combler les besoins spécifiés par l'édition 1989. La ration B est la même ration, évaluée selon le modèle de l'édition 2001. La ration C conserve les mêmes proportions d'ingrédients mais la consommation est celle prédicté par l'édition 2001.

² Analyse de référence de l'édition 1989 : 20 %PB, 29 %ADF, 40 %NDF

³ Analyse de référence de l'édition 1989 : 8,1 %PB, 28 %ADF, 51 %NDF

⁴ Analyse de référence de l'édition 1989 : 9,1 %PB, 36 %ADF, 62 %NDF

⁵ PIND : protéine ingérée non dégradée (1989) ou PNDR : protéine non dégradée au rumen (2001)

⁶ PID : protéine ingérée dégradée (1989) ou PDR : protéine dégradée au rumen (2001)

