

Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : actualisation des connaissances

F. MESCHY

INRA, AgroParisTech, UMR791 Physiologie de la Nutrition et de l'Alimentation,
16 rue Claude Bernard, F-75231 Paris, France

A l'occasion de la publication par l'INRA de la mise à jour des Tables de l'Alimentation des bovins, ovins et caprins, cet article se propose de regrouper, et le cas échéant d'actualiser les Apports Journaliers Recommandés (AJR) et l'évaluation des apports alimentaires en éléments minéraux et en vitamines pour les ruminants.

Nous ne reviendrons pas ici sur les rôles et les fonctions des différents éléments minéraux ; des informations détaillées sont disponibles dans *Alimentation des bovins, ovins et caprins* (INRA 1988) et Underwood et Suttle (1999).

Le précédent système de recommandations (INRA 1988) d'apport alimentaire et les teneurs en éléments minéraux (ne concernant que le phosphore et le calcium) reposait sur des connaissances datant d'une trentaine d'années, il était donc nécessaire d'intégrer la production scientifique récemment disponible et de tenir compte de l'évolution du matériel animal et végétal et des pratiques de production. De plus, cet arti-

cle précise les nouveaux concepts qui sont apparus comme le bilan électrolytique des rations.

1 / Apports journaliers recommandés

L'usage est de présenter séparément les éléments minéraux majeurs et les oligo-éléments (ou éléments trace métalliques) car les méthodes d'évaluation des besoins des animaux et les rôles et fonctions dans l'organisme sont sensiblement différents.

1.1 / Éléments minéraux majeurs

Les apports journaliers recommandés en éléments minéraux majeurs sont établis selon un schéma qui consiste à évaluer, d'une part, les besoins physiologiques d'entretien et de production et, d'autre part, l'efficacité de l'utilisation digestive de l'apport alimentaire caractérisée par le Coefficient d'Absorption Réelle (CAR). Les AJR sont désormais exprimés en élément absorbés pour les besoins physiologiques et en éléments

absorbables pour l'apport alimentaire : teneur totale x CAR.

L'actualisation de l'évaluation des besoins physiologiques a été réalisée lorsque des données nouvelles la rendaient possible. Pour les apports, le précédent système (INRA 1988) adoptait un CAR unique pour un élément minéral, une espèce et un stade physiologique donné, ce qui revenait à dire que tous les aliments et toutes les rations présentaient la même efficacité pour l'utilisation digestive des éléments minéraux. L'intégration de résultats expérimentaux récents a permis de proposer des CAR spécifiques pour le phosphore et le calcium pour les grands groupes d'aliments des ruminants (Meschy 2002, Sauviant *et al* 2004, Meschy et Corrias 2005), ce qui semble plus réaliste (ces aspects seront abordés au chapitre concernant l'apport minéral alimentaire).

a) Le besoin d'entretien

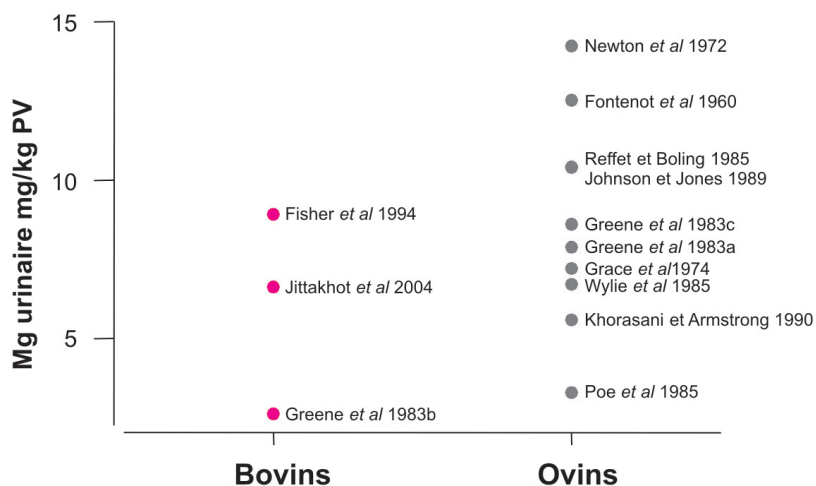
Les bases de calcul de la prévision du besoin d'entretien pour les différents éléments minéraux majeurs sont présentées au tableau 1.

Tableau 1. Prévision du besoin d'entretien en éléments minéraux majeurs absorbés (en g/j).

| Catégories d'animaux | Phosphore | Calcium | Magnésium | Sodium | Chlore | Potassium |
|----------------------|----------------|---------------------|-----------|---------|---------|-----------|
| Bovins | | | | | | |
| Croissance | | 0,663 MSI + 0,008PV | | 0,015PV | 0,23PV | 0,105PV |
| Gestation | 0,83MSI + | 0,015PV | 0,007PV | 0,015PV | 0,023PV | 0,105PV |
| Lactation | 0,002PV | 0,663 MSI + 0,008PV | | 0,023PV | 0,035PV | 0,150PV |
| Caprins | | | | | | |
| Croissance | | 0,67 MSI + 0,01PV | | 0,015PV | 0,23PV | 0,105PV |
| Gestation | 0,905MSI + 0,3 | 0,015PV | 0,01PV | 0,015PV | 0,023PV | 0,105PV |
| Lactation | + 0,002PV | 0,67 MSI + 0,01PV | | 0,023PV | 0,035PV | 0,150PV |
| Ovins | | | | | | |
| Croissance | | 0,67 MSI + 0,01PV | | 0,015PV | 0,23PV | 0,105PV |
| Gestation | 0,905MSI + 0,3 | 0,015PV | 0,01PV | 0,015PV | 0,023PV | 0,105PV |
| Lactation | + 0,002PV | 0,67 MSI + 0,01PV | | 0,023PV | 0,035PV | 0,150PV |

PV : poids vif en kg.

MSI : matière sèche ingérée en kg/j.

Figure 1. Variabilité de l'excrétion urinaire de magnésium chez les ovins et bovins.

Le besoin d'entretien est généralement assimilé aux pertes fécales d'origine endogène (sauf pour le phosphore, Meschy 2002) augmentées des pertes urinaires obligatoires.

Pour le phosphore (P) et le calcium (Ca), ce besoin se calcule à partir de la Matière Sèche Ingérée (MSI) et du poids vif. La perte fécale endogène de magnésium (Mg) est peu variable, elle est fixée à 3 mg/kg PV (ARC 1980, Guéguen *et al* 1987, CSIRO 1990, Alcade *et al* 1997, Underwood et Suttle 1999, NRC 2001). Longtemps considérée comme négligeable, la question de la prise en compte d'une perte supplémentaire obligatoire de Mg dans l'urine se pose ; nous avons adopté (Guéguen *et al* 1987) une valeur journalière de 2 mg/kg PV, probablement sous-

estimée pour des niveaux de production élevés. Chez le mouton, l'excrétion urinaire extrapolée à une ingestion nulle de Mg varie de 6 (Dalley *et al* 1991) à 10 mg/kg PV (Robson 1990). A partir d'une base de données regroupant une douzaine de publications, nous obtenons les valeurs moyennes de 4 mg/kg PV pour les bovins et 7 mg/kg PV pour les ovins (figure 1). L'adoption de ces valeurs conduit à réévaluer légèrement le besoin d'entretien de Mg, surtout pour les ovins.

Il n'y a pas de résultat récent justifiant de modifier le besoin d'entretien en sodium (Na) fixé à 15 mg/kg PV/j pour des animaux à performances modérées. Pour les femelles en lactation, sans adopter aujourd'hui la valeur apparemment élevée de 38 mg/kg PV/j

retenue par le NRC (2001), nous proposons de prendre en compte leurs particularités métaboliques augmentant le besoin d'entretien des animaux taris ou en gestation du même ordre que pour le potassium (50 %).

Le besoin d'entretien en chlore (Cl) est fixé à 150 % de celui en Na (Guéguen *et al* 1987, NRC 2001).

Il n'y a pas lieu de remettre en cause la valeur de la perte obligatoire de potassium (K) dans l'urine fixée à 35 mg/kg PV/j (Guéguen *et al* 1987, NRC 2001). En revanche, les pertes endogènes fécales, directement liées à l'intensité du métabolisme, méritent d'être actualisées, surtout pour les femelles en lactation. En 1987, nous avons adopté la valeur de 35 mg/kg PV/j qui correspondait à l'hypothèse basse de l'ARC (1980) reposant sur des travaux antérieurs à 1950. Pour les animaux en croissance ou en gestation nous retenons en accord avec le NRC (2001) la valeur de 70 mg/kg PV/j. Pour les animaux en lactation nous adoptons la valeur de 115 mg/kg PV/j. Le NRC (2001) propose 215 mg/kg PV/j mais cette valeur obtenue de manière indirecte à partir d'essais d'alimentation nous semble excessive.

b) Les besoins de production

Le besoin de croissance (tableau 2) correspond à la minéralisation du dépôt corporel, le plus souvent squelettique ; en raison de la nature du croît (os, muscle et tissus adipeux) il diminue avec l'âge des animaux. L'accrétion miné-

Tableau 2. Préviction des besoins de production en éléments minéraux majeurs absorbés (en g/j.)

| | Phosphore | Calcium | Magnésium | Sodium | Chlore | Potassium |
|------------------------------------|---|---|-----------|--------|--------|-----------|
| Croissance (par kg de gain) | | | | | | |
| Bovins | $1,2 + 4,66PVad^{0,22} \times PV^{-0,22}$ | $9,83PVad^{0,22} \times PV^{-0,22}$ | 0,40 | 1,40 | 1,00 | 1,60 |
| Caprins | $1,2 + 3,19PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$ | $6,75PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$ | 0,40 | 1,20 | 1,00 | 1,80 |
| Ovins | $1,2 + 3,19PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$ | $6,75PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$ | 0,40 | 0,90 | 0,70 | 1,80 |
| Gestation (derniers tiers) | | | | | | |
| Bovins | $7,38/1 + e^{(19,1 - 5,46 \times \log (sg))}$ | $23,5/1 + e^{(18,8 - 5,03 \times \log (sg))}$ | 0,30 | 1,30 | 1,00 | 1,00 |
| Caprins | 0,60 - 1,20* | 1,00 - 2,00* | 0,05 | 0,30 | 0,40 | 0,30 |
| Ovins | 0,40 - 0,90* | 0,70 - 1,50* | 0,03 | 0,30 | 0,40 | 0,20 |
| Lactation (par kg de lait) | | | | | | |
| Bovins | 0,90 | 1,25 | 0,15 | 0,45 | 1,15 | 1,50 |
| Caprins | 0,95 | 1,25 | 0,15 | 0,45 | 1,30 | 1,80 |
| Ovins | 1,50 | 1,90 | 0,18 | 0,45 | 1,15 | 1,40 |

PVad : poids vif adulte en kg. PV : poids vif en kg.

sg : semaine de gestation.

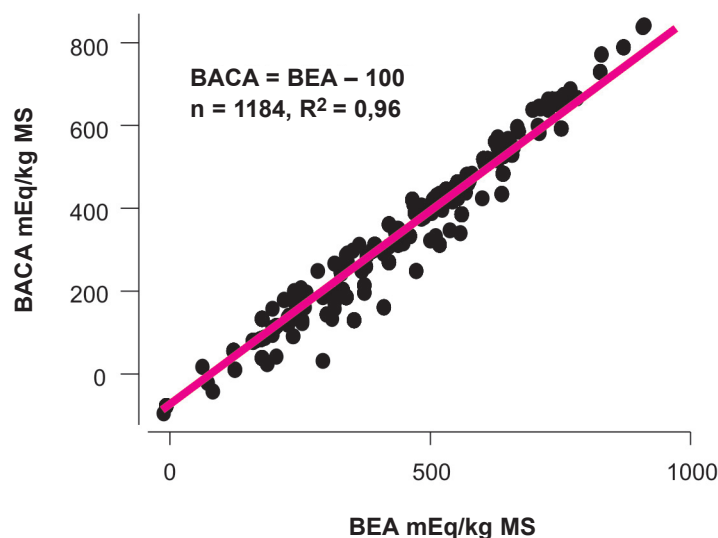
* : selon la taille de la portée (simple-double).

le est surtout importante pour Ca et P mais existe également pour les autres éléments minéraux majeurs. Nous avons adopté, en 2002 pour P et en 2005 pour Ca, les équations allométriques de l'AFRC (1991) basées sur le poids vif observé et sur le poids vif adulte ; elles présentent l'avantage de prendre en compte de façon précise l'évolution de la composition phosphocalcique du gain. Pour les éléments autres que Ca et P, nous confirmons nos précédentes recommandations (INRA 1988) qui sont en accord avec celles du NRC (2001) pour les bovins. Les données pour les caprins ont été confirmées, notamment par les travaux allemands du GfE (2003).

Le besoin de gestation (tableau 2) correspond à la minéralisation de l'utérus gravide ; il ne devient significatif que lors du dernier tiers de la gestation et concerne principalement Ca et P. Pour les bovins, nous avons précédemment adopté l'équation du NRC (2001) ; nous en proposons une version simplifiée (Faverdin *et al* 2007) où la base de calcul est la semaine et non plus le jour. Dans le cas des petits ruminants, nous conservons nos précédentes estimations pour les brebis (Guéguen *et al* 1987) et pour les chèvres (Meschy 2000), plus adaptées que le modèle proposé par l'AFRC (1991) qui conduit à une sous-évaluation du besoin de gestation en Ca et P.

Le besoin de lactation est directement déduit de la composition minérale du lait. Les valeurs du tableau 2 proviennent de la compilation de synthèses récentes (Guéguen 1997, NRC 2001, GfE 2003). Dans un souci de simplification, nous avons adopté des valeurs moyennes pour l'ensemble de la lactation alors que la concentration en minéraux (surtout celle en Ca) diminue au cours de la lactation ; de même nous

Figure 2. Relation entre BACA et BEA pour les fourrages (INRA 2007).



n'avons pas retenu un effet «race» relativement mineur en France (moins de 10 % pour Ca), alors que le NRC (2001) distingue la race Jersey des autres (1,45 g de Ca/L).

Le besoin journalier global de l'animal résulte de la somme des besoins d'entretien et de production(s). Parce qu'il n'est pas toujours facile d'avoir accès aux variables utilisées notamment la matière sèche réellement ingérée, nous proposons au tableau 3, pour P et Ca, quelques simplifications pratiques pour les relier au besoin énergétique.

1.2 / L'équilibre électrolytique des rations

Les conséquences de la variation de l'apport alimentaire en cations et en anions ont tout d'abord été étudiées en France en aviculture pour la prévention de certains troubles osseux et pour l'optimisation des performances chez le poulet en croissance (Sauveur et

Mongin 1978). Chez les ruminants laitiers, cette approche a longtemps été privilégiée, en Amérique du Nord, pour la prévention des accidents vitulaires : de nombreuses études ont succédé aux travaux pionniers de Dishington (1975). Des études plus récentes ont montré l'impact de l'équilibre électrolytique des rations sur l'ingestion et la production laitière des caprins (Meschy et Sauvart 2002) et des bovins (Apper-Bossard et Peyraud 2004). Les mécanismes en jeu ont été récemment décrits dans la synthèse de Peyraud et Apper-Bossard (2006).

Le principe général est que les anions, absorbés contre du bicarbonate, sont acidifiants alors que les cations, échangés contre des protons sont alcalinisants au niveau métabolique. Il existe une dizaine d'équations de prévision du profil électrolytique des rations ; les plus couramment utilisées sont le Bilan Electrolytique Alimentaire (BEA) et le Bilan Alimentaire Cations Anions (BACA) :

$$\begin{aligned} \text{BEA (mEq/kg MS)} &= [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-] \\ \text{BACA (mEq/kg MS)} &= \\ &= ([\text{K}^+] + [\text{Na}^+]) - ([\text{Cl}^-] - [\text{S}^{2-}]). \end{aligned}$$

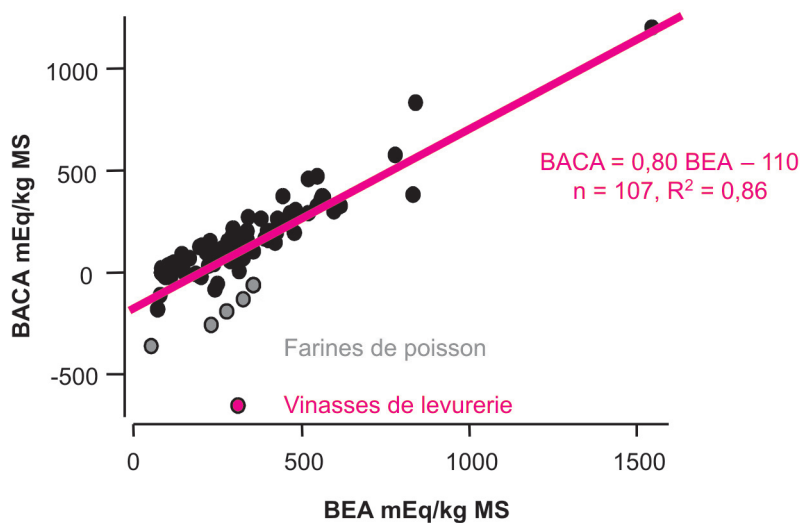
La différence essentielle réside dans la prise en compte ou non du soufre dont le rôle semble moins important : son absorption digestive (et par conséquent son poids dans le système) est sensiblement inférieure à celle de K, Na et Cl. Son rôle acidifiant est moindre que celui du chlore (Goff et Horst 1998) et son dosage dans les aliments pose quelques problèmes analytiques. Pour les fourrages, (figure 2) une très bonne corrélation est observée entre BACA et BEA ; nous aboutissons avec

Tableau 3. Apports journaliers recommandés globaux (entretien + production) de phosphore et de calcium basés sur le besoin énergétique.

| | Phosphore (g/j) | Calcium (g/j) |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Vaches laitières | | |
| En lactation | 2,80 UFL – 5,65 (0,99) | 3,51 UFL – 7,65 (0,99) |
| En gestation | 0,80 UFL + 10,20 (0,66) | 2,67 UFL – 4,20 (0,99) |
| Vaches allaitantes | | |
| En lactation | 2,30 UFL – 1,77 (0,99) | 3,00 UFL – 3,47 (0,99) |
| En gestation | 1,47 UFL + 3,35 (0,97) | 2,38 UFL – 1,55 (0,99) |
| Chèvres laitières | | |
| En lactation | 2,80 UFL – 0,50 (0,99) | 3,31 UFL – 1,07 (0,99) |
| En gestation, 1 chevreau | 1,20 UFL + 1,10 (0,72) | 1,66 UFL + 0,93 (0,85) |
| En gestation, 2 chevreaux | 2,00 UFL + 1,50 (0,72) | 1,66 UFL + 1,93 (0,84) |

(entre parenthèses : coefficient de détermination R²).

Figure 3. Relation entre BACA et BEA pour les aliments concentrés (données Sauvart et al 2004).



un jeu de données différent à une équation de régression ($BACA = BEA - 100$, $n = 1184$, $R^2 = 0,96$) cohérente avec celle publiée antérieurement (Meschy et Peyraud 2004). Pour les aliments concentrés (figure 3), certaines matières premières riches en soufre (vinasses de levurerie, farines et co-produits de poisson) s'éloignent de la loi générale ; en les écartant nous obtenons une liaison robuste entre bilans alimentaires ($BACA = 0,80 BEA - 110$, $n = 107$, $R^2 = 0,86$). Pour ces différentes raisons, nous choisissons, comme pour les monogastriques, le BEA comme estimateur de l'équilibre électrolytique des rations.

Les recommandations dépendent du stade physiologique : en fin de gestation et durant les deux premières semaines de lactation, des rations «acidifiantes» sont à rechercher car elles participent à la prévention des fièvres vitulaires en stimulant l'absorption intestinale et la mobilisation du cal-

cium osseux. A ce stade un BEA < 50 mEq/kg de MS peut être préconisé. Cet objectif de BEA ne doit pas se substituer aux moyens de prévention classiques (restriction de l'apport calcique, préparation au vêlage en évitant de distribuer aux vaches tarées la ration des vaches en production, trop riche en calcium...). Pour les ruminants en lactation, un BEA de l'ordre de 250 mEq/kg MS est recommandé ; en revanche, il est inutile de dépasser 350 mEq/kg MS, voire nuisible d'aller au delà de 400 mEq/kg MS (Peyraud et Apper-Bossard 2006). Ces valeurs seront probablement à moduler en fonction d'autres composants des rations : les effets de BEA élevés (dans la zone des recommandations ci-dessus) sont plus marqués avec des concentrés énergétiques à amidon rapidement fermentescible (blé vs maïs) et lorsque la teneur en PDI de la ration est relativement faible (Apper-Bossard *et al* 2004, 2006).

Tableau 4. Apports journaliers recommandés (AJR) en oligo-éléments en mg/kg de MS de la ration (adapté de INRA 1988).

| Élément | Seuil de carence | Apport journalier recommandé | Seuil de toxicité | Maximum réglementaire |
|-----------|------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Cuivre | 7 | 10 | Ovins : 15 Bovins et caprins : 30 | Ovins : 15 Bovins et caprins : 25 |
| Zinc | 45 | 50 | 250 | 150 |
| Manganèse | 45 | 50 | 1000 | - |
| Sélénium | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,5 |
| Cobalt | 0,07 | 0,3 | 10 | 2 |
| Iode | 0,15 | 0,2-0,8* | 8 | - |
| Molybdène | - | 0,1 | 3 | - |

1.3 / Les apports journaliers recommandés en soufre et oligo-éléments

La démarche factorielle est difficilement applicable à ces éléments en raison de la formation de composés volatils au cours du métabolisme du soufre (S) et des très faibles quantités d'oligo-éléments circulantes ou déposées dans les différents tissus. Le NRC (2001) a adopté une approche factorielle pour certains oligo-éléments comme le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le manganèse (Mn) mais elle repose sur un faible nombre de données expérimentales. Pour ces éléments, nous adoptons une méthode plus globale, de type dose-réponse ; elle consiste à analyser les conséquences de la variation de la concentration de l'élément étudié sur un critère de réponse (performances, teneurs tissulaires, activité enzymatique spécifique...) pour définir des seuils de carence et éventuellement de toxicité. L'AJR se situe entre ces seuils en adoptant une marge de sécurité prenant en compte les variations entre animaux ou entre aliments ; cette marge de sécurité dépend de la distance entre les seuils de carence et de toxicité (tableau 4).

Le besoin en S concerne principalement les micro-organismes du rumen, bien qu'il soit indispensable aux autres fonctions de l'organisme notamment la synthèse du cartilage et la production de fibres. Nous adoptons la valeur moyenne de 2 g de S par kg de MS totale de la ration pour les ovins et les bovins, légèrement supérieure pour les caprins : entre 2,2 pour la croissance (Qi *et al* 1993) et 2,7 g/kg de MS totale de la ration pour la production de fibre textile (Qi *et al* 1992). L'utilisation de sources d'azote non protéique augmente le besoin en S des bactéries du rumen pour la synthèse des acides aminés soufrés (4,5 g de S pour 100 g d'urée), au delà de 3-3,5 g/kg de MS, S peut avoir une action défavorable, notamment sur l'absorption de Cu et Zn.

Pour les oligo-éléments, les données publiées ne conduisent pas à une remise en cause des valeurs antérieures (INRA 1988) sauf peut-être pour le cobalt (Co) ; des essais ayant montré une amélioration de l'activité cellulolytique *in vitro* avec des apports supérieurs aux recommandations actuelles (Kisidayova *et al* 2001), l'AJR de Co peut être porté à 0,3 mg/kg MS de la ration. Il convient également de prendre en compte les aspects réglementai-

res, même s'ils s'écartent parfois des bases scientifiques ; ainsi le règlement français 1334/2003 fixe des maxima pour l'ensemble de la ration (y compris une éventuelle distribution d'aliment minéral) pour le cuivre, le zinc, le sélénium le cobalt et l'iode (tableau 4).

1.4 / Les apports journaliers recommandés en vitamines

L'INRA n'ayant pas de recherches propres sur les besoins vitaminiques a adopté en 1988 les recommandations américaines du NRC (1984 et 1985), confirmées en 1989 pour les bovins laitiers. Il semblait donc logique, suite à la publication de recommandations alimentaires spécifiques aux vaches laitières (NRC 2001), que nous adoptions ces nouvelles valeurs. L'approche américaine était, jusqu'en 2001 de type AJR ; la complémentation, si nécessaire, se calculait par différence entre les besoins des animaux et les apports réalisés par les différents ingrédients de la ration. En 2001, il s'agit de recommandations de «supplémentation» considérant que l'apport alimentaire est nul. Pour rester dans la logique d'AJR, nous sommes partis des recommandations américaines (NRC 2001) et les avons adaptées, notamment aux conditions alimentaires françaises pour aboutir aux AJR proposés au tableau 5 ; cela conduit à une légère réévaluation de l'apport vitaminique conseillé conforme à l'évolution du potentiel de production des vaches laitières.

Pour la vitamine A, la supplémentation recommandée par le NRC (2001) de 110 UI/kg PV correspond à des rations contenant 50 à 70 % d'aliments concentrés (situation rare en France). Pour ce type de régime, la destruction de la provitamine A dans le rumen est d'environ 70 %, alors qu'elle n'est plus que de 20 % pour des régimes à base fourragère (Weiss *et al* 1995). Conformément aux recommandations antérieures, l'apport de vitamine A peut être majoré de 50 % en fin de gestation.

Tableau 5. Apports journaliers recommandés en vitamines en UI/kg de MS selon la proportion d'aliments concentrés de la ration (d'après les données du NRC 2001).

| | Moins de 40 % de concentré | Plus de 40 % de concentré | Limite de toxicité |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| Vitamine A | | | |
| Lactation | 4200 | 6600 | |
| Gestation | 6000 | 9000 | 66000 |
| Vitamine D | 1000 | 1000 | 10000 |
| Vitamine E | | | |
| Lactation | 15 | 40 | |
| Gestation | 25 | - | 2000 |

Tableau 6. Teneur en vitamines A, D et E des principaux aliments des ruminants en UI/kg de MS (d'après Sauvart *et al* 2004 pour les aliments concentrés et INRA 2007 pour les fourrages).

| | Vitamine A | Vitamine D | Vitamine E |
|--|------------|------------|------------|
| Céréales | 1500-2000 | - | 15-30 |
| Tourteaux | - | - | 15-20 |
| Pulpes de betteraves déshydratées | 100 | 500 | 12 |
| Luzerne déshydratée | 60-80 000 | - | 150-200 |
| Fourrages verts | | | |
| Prairies permanentes | 100 000 | 30 | 20 |
| Graminées | 80 000 | 30 | 20 |
| Légumineuses | 120 000 | 20 | 100 |
| Ensilages | | | |
| Prairies permanentes | 8 000 | 200 | 5 |
| Maïs | 5 000 | 200 | 5 |
| Graminées | 8 000 | 200 | 5 |
| Légumineuses | 3 000 | 200 | 5 |
| Foins | | | |
| Prairies permanentes | 45 000 | 50 | 10 |
| Graminées | 50 000 | 50 | 5 |
| Légumineuses | 45 000 | 400 | 10 |

Pour la vitamine D, compte tenu de sa très faible concentration dans les végétaux, il n'y a que peu de différence entre AJR et supplémentation ; le NRC (2001) confirme les précédentes valeurs. Pour la vitamine E en reprenant la même approche que pour la vitamine A on aboutit au même AJR qu'en 1988 pour des rations contenant des proportions modérées d'aliments concentrés, par contre l'augmentation de l'apport pour les vaches tarées se justifie par le nombre de publications convergentes de ces dernières années. Pour les vaches en gestation, nous n'avons pas retenu des proportions de concentrés supérieures à 40 %, ces pratiques n'étant pas observées sur le terrain.

Faute de données nouvelles, ces AJR ajustés pour les vaches laitières sont appliqués aux bovins à viande en croissance et à l'engrais et aux petits ruminants. Des valeurs indicatives moyennes de teneurs en vitamines A, D et E des principaux aliments des ruminants figurent au tableau 6. Pour les aliments concentrés, une information plus précieuse

est disponible dans les Tables INRA-AFZ (Sauvart *et al* 2004), ce qui n'est malheureusement pas le cas pour les fourrages.

Nous ne disposons pas encore de données suffisamment précises pour proposer des AJR pour d'autres vitamines, notamment du groupe B, en particulier pour les animaux à très haut potentiel de production pour lesquels une complémentation pourrait éventuellement se révéler nécessaire.

2 / L'apport minéral alimentaire

Le rationnement minéral suppose que l'on puisse confronter les AJR aux apports alimentaires en éléments minéraux absorbables (éléments majeurs) ou bruts (oligo-éléments). Pour les éléments majeurs, il est nécessaire de pouvoir disposer d'informations quantitatives (teneurs minérales) et qualitatives (utilisation digestive par l'animal) sur les différents composants des rations.

2.1 / Les teneurs minérales des aliments des ruminants

La nouvelle édition de l'ouvrage *Alimentation des bovins ovins et caprins* (INRA 2007) propose deux niveaux d'information pour la valeur minérale des aliments : sur la version papier figurent les données en P et Ca brutes et absorbables alors que les autres minéraux majeurs, les oligo-éléments et les vitamines sont disponibles sur le CD ROM compagnon de l'ouvrage.

a) Aliments concentrés et sources minérales d'apport complémentaire

Les valeurs de composition minérale des aliments concentrés ont été actualisées dans les Tables INRA-AFZ (Sauvant *et al* 2004) ; elles sont reprises dans INRA (2007). Elles proviennent principalement de la base de données de l'Association Française de Zootechnie (AFZ) complétée, lorsque cela a été nécessaire, par des informations d'origine bibliographique (vitamines et quelques oligo-éléments peu courants). Ces Tables concernent plus d'une centaine d'aliments concentrés et de co-produits pour lesquels l'ensemble des minéraux d'intérêt nutritionnel (P, Ca, Mg, K, Na, Cl, S, Zn, Mn, Cu, Fe, Se, Co, Mo et I) a été renseigné ; les valeurs de P absorbable, de BEA et de BACA y figurent également.

Dans ces mêmes Tables, des Valeurs Biologiques Relatives (VBR) sont indiquées pour les principales sources d'apport minéral complémentaire. Chaque source est comparée, sur la base d'une analyse quantitative de la bibliographie, à une source de référence qui se voit arbitrairement accorder la valeur 100 (Jongbloed *et al* 2002).

b) Fourrages

Les valeurs de composition minérale des fourrages dans les Tables précédentes avaient été déterminées il y a une trentaine d'années et ne concernaient que P et Ca. Pour réaliser cette nécessaire actualisation et indiquer des valeurs pour les éléments autres que P et Ca, nous disposons de 5 jeux de données distincts :

1 – Une base de données constituée à partir d'un nombre important de résultats d'analyses (30 000 environ dont 2/3 pour l'ensilage de maïs) mis à notre disposition par nos différents partenaires (BD PNA).

2 – Une base de données provenant d'essais de digestibilité réalisés à l'Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA de Theix (BD URH) qui présentait l'avantage de porter sur des échantillons de même nature (fourrage, stade de végétation) avec divers modes de conservation.

3 – Une base de données regroupant deux cents échantillons environ provenant d'essais de fertilisation sur les prairies permanentes de Normandie réalisés à l'Unité Mixte de Recherches Production de Lait, INRA de Rennes (BD PL).

4 – Une cinquantaine d'échantillons de prairies permanentes de plaine et de

demi-montagne analysés en 2005 (BD PP).

5 – Les Tables de 1988 comme référence pour P et Ca (TR 88).

Pour éviter le biais dû à «l'âge» des données, nous n'avons retenu, pour la BD PNA et à quelques exceptions près, que celles ayant moins de 5 ans au début de ce travail (mi-2004). Le recours aux données d'origine bibliographique a été rare et n'a concerné que des fourrages peu courants. La démarche adoptée a été, comme pour les autres vecteurs nutritionnels, d'établir des valeurs pour les fourrages verts et d'utiliser ensuite des équations de passage pour les divers modes de conservation. Nous disposons dans BD PNA de 740 analyses de fourrages verts identifiés au moins pour l'espèce végétale ; pour les graminées, une estimation du stade de végétation du premier cycle a été effectuée sur la base de la teneur en MAT (approximativement stade feuillu, épi à 10 cm, épiaison et début de floraison). Une première comparaison entre la TR 88 et la BD PNA, sur les ray-grass, espèce la plus représentée ; ($n = 516$, dont 320 RGI et 95 RGA), a permis d'établir un facteur de correction pour P : $P \text{ (g/kg MS)} = 0,7TR88 + 0,55$ ($n = 47$, $P < 0,001$, $R^2 = 0,96$, $etr = 0,09$). Après validation avec les données disponibles de BD URH nous avons appliqué cette relation à l'ensemble des fourrages verts à l'exception des prairies permanentes (PP), celle-ci sous-estimant la teneur en P des PP de plaine (10 à 30 %) et surestimant celle des PP de demi-montagne (30 à 60 %) par rapport aux données analytiques disponibles. Pour les PP, les régressions ont été établies à partir de nos données spécifiques (BD PL, PP et URH) :

$$PP \text{ plaine P (g/kg MS)} = 0,33TR88 + 2,65 \\ (n = 12, P < 0,005, R^2 = 0,75, etr = 0,13)$$

$$PP \text{ demi-montagne P (g/kg MS)} = 0,59TR88 \\ (n = 15, P < 0,001, R^2 = 0,90, etr = 0,5)$$

La même démarche a été suivie pour Ca, elle aboutit aux équations suivantes :

$$\text{Graminées Ca (g/kg MS)} = 0,95TR88 \\ (n = 13, P < 0,001, R^2 = 0,96, etr = 0,8)$$

$$\text{Légumineuses Ca (g/kg MS)} = 0,98TR88 \\ (n = 9, P < 0,001, R^2 = 0,96, etr = 1,6)$$

$$PP \text{ Plaine Ca (g/kg MS)} = 0,86TR88 \\ (n = 12, P < 0,001, R^2 = 0,98, etr = 0,8)$$

$$PP \text{ demi-montagne Ca (g/kg MS)} = 0,64TR88 \\ (n = 15, P < 0,001, R^2 = 0,96, etr = 1,0)$$

Les teneurs en P ($n = 16900$) et Ca ($n = 16500$) des ensilages de maïs ont

été directement extraites de BD PNA. Les valeurs moyennes des autres éléments minéraux proviennent du regroupement des différentes bases de données et principalement de BD PNA pour les oligo-éléments.

Les équations de passage fourrages verts / fourrages conservés ont été établies à partir de BD URH pour les éléments minéraux majeurs (Meschy *et al* 2005). Faute d'information suffisante, nous avons considéré qu'il n'y avait pas de modification due au mode de conservation pour les oligo-éléments.

Les valeurs de BE (et pour ces Tables de BACA) ont été calculées à partir des teneurs actualisées en S et en électrolytes.

Les teneurs en vitamines des fourrages sont beaucoup plus imprécises et les variations entre sources sont importantes en raison à la fois du peu de données disponibles, de l'imprécision et du coût des analyses.

2.2 / Utilisation digestive de l'apport alimentaire

a) Phosphore et calcium

Pour actualiser les valeurs des coefficients d'absorption réelle en intégrant les résultats expérimentaux récents, plusieurs bases de données ont également été constituées ; tout en privilégiant les données obtenues avec traceurs radioactifs (^{32}P et ^{45}Ca), nous les avons étendues aux expériences comparant la source étudiée (EXP) à une ration de base (RB) très pauvre (Hurwitz 1964) selon le schéma suivant :

$$100 \times ((\text{Ingéré EXP} - \text{Ingéré RB}) - (\text{Fécal EXP} - \text{Fécal RB})) / (\text{Ingéré EXP} - \text{Ingéré RB}).$$

Pour le phosphore, nous n'avons retenu que les mesures où un apport significatif (au moins 60 % de l'apport alimentaire total) était réalisé par la source étudiée. Des valeurs de CAR spécifique ou par famille d'ingrédients (lorsque une valeur spécifique n'était pas disponible) ont été ainsi établies pour les aliments concentrés (tableau 7) et pour les différentes catégories de fourrages (tableau 8).

Pour le calcium, les données disponibles, étant moins nombreuses, ne nous ont pas permis de proposer des valeurs de CAR spécifiques, mais des valeurs par grands groupes d'aliments (tableaux 7 et 9).

Tableau 7. Coefficients d'absorption réelle (CAR) du phosphore et du calcium des principaux aliments concentrés des ruminants.

| Aliment | CAR P (%) | CAR Ca (%) |
|----------------------|-----------|------------|
| Céréales | 75 | 55 |
| Blé | 72 | 55 |
| Orge | 76 | 55 |
| Tourteaux | 68 | 55 |
| Arachide | 65 | 55 |
| Colza | 71 | 55 |
| Coton | 63 | 55 |
| Lin | 67 | 55 |
| Soja | 70 | 55 |
| Tournesol | 65 | 55 |
| Divers | * | * |
| Son de riz | 64 | 55 |
| Drèches de brasserie | 78 | 55 |
| Gluten de maïs | 68 | 55 |
| Pulpes de betteraves | 90 | 20 |
| Pulpes d'agrumes | 90 | 20 |
| Luzerne déshydratée | 70 | 30 |
| Graines de coton | 74 | 55 |

* Famille trop hétérogène pour indiquer une valeur moyenne.

Tableau 8. Coefficients d'absorption réelle (CAR) du phosphore des principaux fourrages (Baumont et al 2007).

| | Fourrages Verts (%) | Ensilage (%) | Foin (%) |
|----------------------|---------------------|--------------|----------|
| Prairies permanentes | 70 | 60 | 70 |
| Ray-grass (I et A) | 60 | 60 | 66 |
| Autres Graminées | 66 | 60 | 70 |
| Maïs | 70 | 70 | - |
| Autres céréales | 66 | 66 | - |
| Luzerne | 70 | 65 | 60 |
| Trèfle | 70 | 65 | 65 |
| Autres légumineuses | 70 | - | - |
| Protéagineux | 70 | 65 | - |
| Composées | 70 | 65 | - |
| Crucifères | 70 | 65 | - |

Tableau 9. Coefficients d'absorption réelle (CAR) du calcium des principaux fourrages (Baumont et al 2007).

| | Fourrages Verts (%) | Ensilage (%) | Foin (%) |
|----------------------|---------------------|--------------|----------|
| Prairies permanentes | 35 | 35 | 35 |
| Ray-grass (I et A) | 40 | 40 | 40 |
| Autres Graminées | 40 | 40 | 40 |
| Maïs | 40 | 40 | - |
| Autres céréales | 40 | 40 | - |
| Luzerne | 30 | 30 | 30 |
| Trèfle | 30 | 30 | 30 |
| Autres légumineuses | 30 | - | - |
| Protéagineux | 30 | 30 | - |
| Composées | 30 | 30 | - |
| Crucifères | 30 | 30 | - |

b) Magnésium

Pour des raisons techniques (demi-vie brève de ^{28}Mg), les mesures directes du CAR de Mg sont rares. Bien qu'il soit possible de calculer des CAR théoriques à partir d'une valeur moyenne de la perte fécale endogène peu variable pour Mg (3 mg/kg PV), cette estimation reste assez imprécise en valeur absolue (écart type résiduel de l'ordre de 12 % dans notre jeu de données). Il nous semble préférable de nous baser sur les résultats expérimentaux de Coefficient d'Absorption Apparente (CAA) ; dans ce cas il convient d'exprimer les AJR dans la même unité c'est à dire de ne tenir compte que de l'efficacité de l'utilisation métabolique de Mg (pertes urinaires) et des dépenses de production comme cela a été fait pour l'estimation du besoin en P du porc (Jondreville et Dourmad 2005). En partant de jeux de données expérimentales distincts, nous observons, en accord avec Underwood et Suttle (1999), une grande différence entre ovins et bovins, alors que les rares observations sur des caprins (Schoneville *et al* 1997) permettent de les apparenter aux vaches laitières. Nous retrouvons également la diminution quasi linéaire de l'absorption de Mg lorsque la teneur en K augmente dans la ration. Plutôt que de proposer différentes équations selon le type de ration (Underwood et Suttle 1999), nous avons relié l'absorption apparente à la teneur en K du régime qui est un bon indicateur de sa nature :

- pour les bovins et les caprins

$$\text{CAA de Mg} = 25,4 - 0,30\text{K g/kg MS} \\ (n_{\text{exp}} = 7, n = 20, P < 0,001, R^2 = 0,90),$$

- pour les ovins

$$\text{CAA de Mg (\%)} = 45,6 - 0,40\text{K g/kg MS} \\ (n_{\text{exp}} = 20, n = 50, P < 0,01, R^2 = 0,91).$$

Il apparaît donc difficile de donner des valeurs de CAR de Mg pour les aliments ; cette valeur serait différente pour les ovins et les caprins et ovins et devrait de plus être modulée en fonction de la teneur en K de la ration totale.

c) Potassium, sodium et chlore

L'utilisation digestive de ces éléments est très élevée : entre 90 % (NRC 2001) et 95 % (GfE 2003) et peu variable selon la source. Nous adoptons un CAR moyen de 90 % pour chacun d'entre eux.

Conclusion

Le raisonnement des AJR en éléments minéraux majeurs permet de mieux prendre en compte les effets du stade physiologique (entretien de Ca), des spécificités des différentes catégories de ruminants (Mg) et des différences observées dans l'utilisation digestive de l'apport minéral alimentaire. Une

plus grande précision dans l'évaluation des besoins des animaux et une meilleure connaissance de l'apport minéral alimentaire permettent d'ajuster l'apport complémentaire au strict nécessaire et de mieux maîtriser les rejets d'éléments potentiellement polluants (P et certains oligo-éléments) dans les effluents d'élevages de ruminants. Il apparaît néanmoins qu'un certain nombre de questions mériteraient d'être étudiées tant au niveau des

besoins des animaux que des caractéristiques minérales des fourrages, notamment pour les oligo-éléments. Le problème des interactions entre les éléments minéraux et d'autres composantes, minérales ou non, n'a été que peu abordé (Mg x K) et constitue probablement une des limites de l'approche factorielle qui devrait trouver sa solution dans le développement de modèles mécanistes du métabolisme minéral.

Références

- AFRC Agricultural and Food Research Council, 1991. TCRN report 6. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. *Nut. Abst. Rev.*, 61, 570-612.
- Alcade C.R., Ezequiel J.M.B., Lema A., Malheiros E.B., 1999. Endogenous losses and coefficients of apparent and true absorption of magnesium in goats. *Rev. Brasil. Zoot.*, 28, 1347-1357.
- Apper-Bossard E., Peyraud J.L., 2004. Effet du bilan électrolytique sur l'ingestion et la production de lait des vaches laitières : approche bibliographique. *Renc. Rech. Rum.*, 11, 266.
- Apper-Bossard E., Peyraud J.L., Faverdin P., Meschy F., 2004. Effets du bilan alimentaire en cations et en anions sur les performances zootechniques des vaches laitières selon les teneurs en énergie rapidement dégradable et en protéines des rations. *Renc. Rech. Rum.*, 11, 251-254.
- Apper-Bossard E., Peyraud J.L., Faverdin P., Meschy F., 2006. Changing dietary cation-anion difference for dairy cows fed with two contrasting levels of concentrate in diets. *J. Dairy Sci.*, 89, 749-760.
- ARC Agricultural Research Council, 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureau (Ed.), Unwin Brothers, Old Woking, UK, 351p.
- Baumont R., Dulphy J.P., Sauvart D., Meschy F., Aufrère J., Peyraud J.L., 2007. Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières : tables et prévision. In : *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeur des aliments. Tables INRA 2007. Chapitre 8.*, Editions Quæ, Paris, France, 149-179.
- CSIRO 1990. Feeding standards for australian livestock ruminants. CSIRO Publications, Victoria, Australie, 266p.
- Dalley D.E., Robson A.B., Sykes A.R., 1991. Interaction effects of differing levels of potassium and magnesium upon the absorption in sheep. *Proc. 3rd Int. Symp. Nut. Herbivores*, Penang, Malaysia, 25-30 August 1991, 5p.
- Dishington L.W., 1975. Prevention of milk fever by dietary salt supplement. *Acta. Vet. Scand.*, 16, 503-512.
- Faverdin P., Delagarde R., Delaby L., Meschy F., 2007. Alimentation des vaches laitières. In : *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeur des aliments. Tables INRA 2007. Chapitre 5*, Editions Quæ, Paris, France, 23-25.
- Fischer L.J., Dinn N., Tait R.M., Shelford J.A., 1994. Effect of level of dietary potassium on the absorption and excretion of calcium and magnesium in lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 74, 503-509.
- Fontenot J.P., Miller R.W., Whitehair C.K., MacVicar R., 1960. Effects of high-protein high-potassium ration on the mineral metabolism of lambs. *J. Anim. Sci.*, 19, 127-133.
- GfE, 2003. Recommendation for the supply of energy and nutrients for goats. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 121p.
- Goff J.P., Horst R.L., 1998. Use of hydrochloric acid as a source of anions for prevention of milk fever. *J. Dairy Sci.*, 81, 2874-2880.
- Grace N.D., Ulyatt M.J., MacRae J.C., 1974. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. III. The movement of Mg, Ca, P, K and Na in the digestive tract. *J. Agric. Sci.*, 82, 321-330.
- Greene L.W., Schelling G.T., Byers F.M., 1983a. Effects of dietary potassium on absorption of magnesium and other macro-elements in sheep fed different levels of magnesium. *J. Anim. Sci.*, 56, 1208-1213.
- Greene L.W., Fontenot J.P., Webb Jr K.E., 1983b. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *J. Anim. Sci.*, 57, 503-510.
- Greene L.W., Webb Jr K.E., Fontenot J.P., 1983c. Effect of potassium level on site of absorption of magnesium and other macroelements in sheep. *J. Anim. Sci.*, 56, 1214-1221.
- Guéguen L. 1997. La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre. In : *Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre*. Freund G. (Ed.), INRA Editions, Versailles, France, 67-80.
- Guéguen L., Durand M., Meschy F., 1987. Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. *INRA Bull. Tech. C.R.V.Z. Theix*, 70, 105-112.
- Hurwitz S. 1964. Estimation of net phosphorus utilization by the slope method. *J. Nutr.*, 103, 875-882.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins ovins et caprins, Jarrige R. (Ed.), INRA Editions, Paris, France, 471p.
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeur des aliments. Tables INRA 2007. Editions Quæ, Paris, France, 307p.
- Jittakhot S., Schoneville J.T., Wouterse H., Focker E.J., Yuangklang C., Beynen A.C., 2004. Effect of high magnesium intake on apparent magnesium absorption in lactating cows. *Anim. Fd Sci. Technol.*, 113, 53-60.
- Johnson C.L., Jones D.A.A., 1989. Effect of change on diet on the mineral composition of rumen fluid, on magnesium metabolism and on water balance in sheep. *Br. J. Nut.*, 61, 483-594.
- Jondreville C., Dourmad J.Y. 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. *INRA Prod. Anim.*, 18, 183-192.
- Jongbloed A.W., Kemme P.A., De Groote G., Lippens M., Meschy F., 2002. Bioavailability of major and trace elements. EMFEMA (Ed.) Brussels, Belgique, 118p.
- Khorasani G.R., Armstrong D.G., 1990. Effects of sodium and potassium level on the absorption of magnesium and other macrominerals in sheep. *Liv. Prod. Sci.*, 24, 223-235.
- Kisidayova S., Sviatko P., Siroka P., Jalc D., 2001. Effect of elevated cobalt intake on fermentative parameters and protozoan population in RUSITEC. *Anim. Fd Sci. Technol.*, 91, 223-232.
- Meschy F., 2000. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livest. Prod. Sci.*, 64, 9-14.
- Meschy F. 2002. Recommandations d'apport en phosphore absorbé chez les ruminants. *Renc. Rech. Rum.*, 9, 279-285.
- Meschy F., Corrias R., 2005. Recommandations d'apport alimentaire en calcium et magnésium absorbables pour les ruminants. *Renc. Rech. Rum.*, 12, 221-224.
- Meschy F., Peyraud J.L., 2004. Teneurs en ions forts des fourrages et calcul de la valeur de leur bilan alimentaire anions-cations et de leur bilan électrolytique. *Renc. Rech. Rum.*, 11, 255-258.
- Meschy F., Sauvart D., 2002. Effect of dietary cations-anions difference on physiological and productive responses in dairy goats during early lactation. *J. Anim. Sci.*, 80, Supl.1 ; *J. Dairy Sci.*, 85, Supl.1, 365.
- Meschy F., Baumont R., Dulphy J.P., Nozieres M.O., 2005. Effet du mode de conservation sur la composition en éléments minéraux majeurs des fourrages. *Renc. Rech. Rum.*, 12, 116.
- Newton G.L., Fontenot J.P., Tucker R.E., Polan C.E., 1972. Effects of high dietary potassium intake on the metabolism of magnesium in sheep. *J. Anim. Sci.*, 35, 440-445.
- NRC National Research Council, 1984. Nutrient requirements of beef cattle. National Academy Press, Washington DC, 90p.

NRC National Research Council, 1985. Nutrient requirements of sheep. National Academy Press, Washington DC, 112p.

NRC National Research Council, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised Ed., National Academy Press Washington DC, 381p.

Peyraud J.L., Apper-Bossard E., 2006. L'acidose latente chez la vache laitière. INRA Prod. Anim., 19, 79-82.

Poe J.H., Greene L.W., Schelling G.T., Byers F.M., Ellis W.C., 1985. Effects of dietary potassium and sodium on magnesium utilization in sheep. J. Anim. Sci., 60, 578-582.

Qi K., Lu C.D., Owens F.N., Lupton C.J., 1992. Sulphate supplementation of Angora goats- metabolic and mohair responses. J. Anim. Sci., 70, 2828-2837.

Qi K., Lu C.D., Owens F.N., 1993. Sulphate supplementation of growing goats, effect on performance, acid-base balance and nutrient digestibilities. J. Anim. Sci., 71, 1579-1587.

Reffet J.K., Boling J.A., 1985. Nutrient utilization in lambs fed diets high in sodium or potassium. J. Anim. Sci., 61, 1004-1009.

Robson A.B., 1990. Model of magnesium metabolism in sheep. Proc. 3rd Int. Workshop on Modelling digestion and metabolism in farm animals, Robson A.B., Poppi D.P. (Eds.), 169-186.

Sauveur B., Mongin P., 1978. *Tibial dyschondroplasia*, a cartilage abnormality in poultry. Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys., 18, 87-98.

Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage, 2^{ème} Ed. revue et corrigée, INRA Éditions, Paris, France, 301p.

Schoneville J.T., Ram L., Van'tKlooster H., Beynen A.C., 1997. Native corn starch versus either cellulose or glucose in the diet and the effects on apparent magnesium absorption in goats. J. Dairy Sci., 80, 1738-1743.

Underwood E.J., Suttle N.F., 1999. The mineral nutrition of livestock. 3rd Ed., CABI Publishing Oxon, UK, 614p.

Weiss W.P., Smith K.L., Hogan J.S., Steiner T.E., 1995. Effect of forage to concentrate ratio on disappearance of vitamins A and E during *in vitro* ruminal fermentation. J. Dairy Sci., 78, 1837-1842.

Wylie M.J., Fontenot J.P., Greene L.W., 1985. Absorption of magnesium and other macrominerals in sheep infused with potassium in different parts of the digestive tract. J. Anim. Sci., 61, 1219-1229.

Résumé

Cet article précise et actualise les apports journaliers recommandés (AJR) en éléments minéraux majeurs, oligo-éléments et vitamines. Pour le phosphore (P) et le calcium (Ca), le besoin d'entretien (B_{ENT}) est désormais calculé à partir de la matière sèche ingérée et du poids vif ; pour Ca, B_{ENT} est supérieur pour les animaux en croissance et en lactation. Pour le magnésium (Mg), B_{ENT} est légèrement réévalué pour tenir compte d'une perte obligatoire dans l'urine sous-estimée jusqu'alors. Les besoins de production sont peu modifiés par rapport aux recommandations précédentes. Des recommandations concernant le bilan électrolytique alimentaire (BEA, $K^+ + Na^+ - Cl^-$, en mEq/kg de MS) des rations selon les objectifs de production sont proposés ; ainsi on recherchera un BEA < 50 en fin de gestation et de l'ordre de 250 pour la lactation. Les AJR en oligo-éléments sont inchangés sauf pour le cobalt qui passe de 0,1 à 0,3 mg/kg de MS de la ration en raison de son effet favorable pour la fonction cellulolytique des bactéries du rumen. La révision des AJR en vitamines A, D et E sur la base des dernières recommandations américaines se traduit par une augmentation des apports en vitamine A et E (surtout pendant la gestation). L'utilisation digestive de l'apport minéral est précisée par l'adoption de coefficients d'absorption réelle (CAR) par groupes d'aliments ; les modifications portent surtout sur P, alors que pour Mg des valeurs différentes pour les ovins et les bovins-caprins sont recommandées, l'effet négatif de la teneur de K des rations sur l'absorption de Mg est quantifié pour les différentes catégories de ruminants. Dans le cadre de la révision des Tables de composition et de valeur nutritive des aliments des ruminants, la méthodologie qui consiste à établir des données de composition minérale des fourrages verts et d'utiliser ensuite des équations de passage pour les fourrages conservés est décrite.

Abstract

Re-assessment of mineral and vitamin nutrition in ruminants

The aim of this review was to update the French dietary allowance recommendations (DAR) for minerals, trace elements and vitamins for ruminants. For phosphorus (P) and calcium (Ca) the maintenance requirement (MR) is now based on dry matter intake and body weight. For Ca, MR is higher for lactating and growing animals. For magnesium (Mg), MR is slightly increased to take into account inevitable urinary loss, underestimated to date. Productive requirements are little modified in comparison to former recommendations. New recommendations on electrolytic balance (EB, $K^+ + Na^+ - Cl^-$, mEq/kg DM) of diets under production targets are proposed, thus EB < 50 in pregnancy and EB around 250 in lactation could be assessed. For trace elements, DAR remain unchanged except for that of cobalt which goes from 0.1 to 0.3 mg/kg DM for optimising cellulolytic activity of rumen bacteria. The re-assessment of DAR for A, D and E vitamins according to the latest American recommendations has led to increased levels of vitamin A and E (especially during pregnancy). Digestive efficiency of dietary mineral supply is updated by considering true availability coefficients (TAC) by groups of feedstuffs; these changes especially concern P. For Mg different values are adopted for cattle (and goats) and sheep. In addition, the negative effect of K level in the diet upon Mg absorption is quantified for different ruminant species. The methodology of the assessment of mineral and trace element content of forages and concentrates is described in the perspective of the publication of the revised edition of the tables of composition and nutritive values of ruminant feedstuffs.

MESCHY F., 2007. Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : actualisation des connaissances. INRA Prod. Anim., 20, 119-128.

