

F. MESCHY et L. GUÉGUEN

INRA Laboratoire de Nutrition et  
Sécurité Alimentaire  
78352 Jouy-en-Josas Cedex

# Alimentation des vaches laitières : Comparaison des recommandations d'apports en minéraux

Les apports minéraux recommandés publiés par l'INRA en 1978 servent toujours de base en France pour l'alimentation minérale de la vache laitière. Depuis lors, des recommandations ont été publiées dans plusieurs pays, les valeurs adoptées étant parfois très différentes. Il n'est donc pas inutile de procéder à une comparaison critique des principales "normes" existantes.

Les écarts entre les différents systèmes sont surtout importants pour le phosphore et le calcium (tableau 1) dont les apports recommandés peuvent être évalués par la méthode factorielle à partir des besoins nets (entretien, croissance, gestation et lactation) et du coefficient d'absorption réelle ou CAR (figure 1).

La concordance est meilleure pour le magnésium, le sodium, le potassium (tableau 1) et les oligo-éléments pour lesquels les besoins sont estimés par une méthode plus glo-

bale basée sur l'observation de symptômes de carence ou la mesure de marqueurs biologiques de subcarence.

Pour P et Ca notamment, il peut exister plusieurs niveaux de besoin :

- le seuil de carence correspond au premier degré : un apport inférieur se traduit par des troubles pathologiques ;

- le besoin minimum apparent, plus élevé que le seuil de carence, représente l'apport alimentaire qui évite toute baisse de production pendant une période donnée. Ce niveau d'apport, souvent retenu dans la pratique, paraît trop restrictif car il ne tient pas compte de l'état des réserves minérales osseuses : un apport insuffisant en Ca et P n'a pas de répercussion à court terme sur les productions de l'animal, mais se traduit par une déminéralisation osseuse ;

- le besoin optimal, retenu dans les normes INRA, est celui qui vise à préserver l'intégrité du squelette, c'est à dire à assurer un bilan nul chez l'adulte et suffisamment positif chez l'animal en croissance.

Il est évident que retenir l'un ou l'autre de ces niveaux de besoin peut conduire à de profondes divergences dans l'évaluation de l'apport alimentaire recommandé, lui-même supérieur au besoin optimal puisqu'il inclut une marge de sécurité tenant compte de la forte variabilité inter-individuelle.

## Résumé

Il existe un bon accord international pour les recommandations d'apport en magnésium, sodium, potassium, soufre et oligo-éléments chez la vache laitière ; il subsiste néanmoins quelques différences en ce qui concerne le phosphore et le calcium. L'essentiel de ces divergences concerne le besoin d'entretien en P et l'absorption réelle de Ca. Le faible besoin d'entretien des normes américaines (NRC 1988) correspond à des régimes pauvres en fourrages pour lesquels le recyclage salivaire de P est faible. L'absorption réelle de Ca se situe entre 35 et 38 % pour l'ensemble des systèmes, à l'exception du SCA australien (60 %) ; cette valeur résulte probablement de l'adaptation parfaite d'un organisme animal soumis à un apport calcique très insuffisant, par conséquent peu compatible avec les conditions pratiques. Les valeurs retenues pour la croissance, la gestation et la lactation sont par ailleurs très proches dans les différents systèmes.

Le système français (INRA 78 et INRA 88) représente en fait de véritables recommandations pratiques d'apport visant à la satisfaction des besoins phosphocalciques de tous les animaux, incluant par conséquent une marge de sécurité et prenant en compte le cycle mobilisation-restauration des réserves minérales osseuses chez la femelle laitière. Ces recommandations sont nécessairement supérieures à celles correspondant au strict besoin minimum.

Tableau 1. Besoins alimentaires en éléments minéraux majeurs (g/j) d'une vache laitière produisant 30 kg de lait par jour.

Références	Phosphore	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Soufre
INRA 1978	75	140	22	23	81	29
Annenkov 1979	91	140	34	29	-	36
ARC 1980	88	68	32	21	90	26
NRC 1988	78	125	35	30	140	26
INRA 1988	75	140	26-35 <sup>1</sup>	26	110	30-35 <sup>2</sup>
SCA 1990	59	82	32	21	90	26

<sup>1</sup>: Valeur plus élevée dans le cadre de la prévention de la tétanie d'herbage.

<sup>2</sup>: Valeur plus élevée dans le cas de l'utilisation d'azote non protéique.

Figure 1. Evaluation des apports recommandés en minéraux par la méthode factorielle (CAR : coefficient d'absorption réelle).

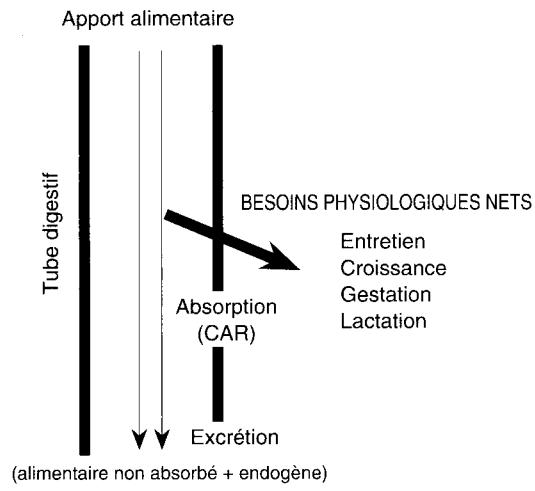


Tableau 2. Besoin net d'entretien retenu pour le calcul des apports recommandés en P et Ca (mg/kg de poids vif et par jour)

Références	Phosphore	Calcium
INRA 1978	25	18
Annenkov 1979	28	15,3
ARC 1980	12	16
NRC 1988	14,3	15,4
INRA 1988	23 <sup>1</sup>	15 <sup>2</sup>
SCA 1990	20	16

<sup>1</sup>: Valeur pour l'entretien, majorée de 1 mg par tranche de 5 litres de lait produits.

<sup>2</sup>: Valeur pour l'entretien, majorée de 1 mg par kg de MS ingérée au dessus de l'entretien.

## 1 / Phosphore et Calcium

### 1.1 / Les bases théoriques du calcul

Les bases théoriques des apports recommandés par l'INRA ont été justifiées à plusieurs reprises dans les années 80 (Guéguen 1982, Bouchet et Guéguen 1983, Guéguen *et al* 1987, Guéguen *et al* 1989) dans le but de réfuter les valeurs adoptées en 1980 par l'Agricultural Research Council britannique (ARC) pour le besoin d'entretien en P et le coefficient d'absorption réelle (CAR) de Ca. Cette controverse scientifique internationale a maintenant pris fin et, à quelques exceptions près, les bases de calcul de l'ARC ont été abandonnées. Il en résulte un meilleur accord international, notamment entre les apports recommandés américains (NRC 1988), soviétiques (Annenkov 1979) et français (INRA 1978, 1988). Les valeurs de l'ARC (1980) sont indiquées dans le tableau 1 comme références de besoin minimum, sachant qu'il ne s'agit pas d'apports recommandés (avec une marge de sécurité) et qu'elles n'ont jamais été appliquées sur le terrain.

Tableau 3. Valeurs du coefficient d'absorption réelle retenues pour le calcul des apports recommandés en P et Ca

Références	Phosphore	Calcium
INRA 1978	55%	35%
Annenkov 1979	50%	35%
ARC 1980	58%	68%
NRC 1988	50%	38%
INRA 1988	55%	35%
SCA 1990	70%	60%

Pour les vaches en lactation, les éventuelles divergences sur le besoin d'entretien sont masquées par la part importante que représentent les besoins en phosphore et calcium pour la

lactation, la composition minérale du lait étant bien connue et peu variable.

Toutefois, il subsiste des discordances dans l'évaluation de ce besoin d'entretien (tableau 2) et des CAR de Ca et de P (tableau 3) qui sont illustrées par les apports recommandés australiens (SCA 1990), d'inspiration britannique, basés sur des CAR encore très élevés pour Ca (60 %) mais aussi, de façon plus surprenante, pour P (70 %).

#### a / Le besoin net d'entretien

Le besoin net d'entretien est souvent assimilé à la perte endogène (renouvellement cellulaire, minéraux non réabsorbés contenus dans les sécrétions salivaires et digestives...) ; pour P, seule la partie incompressible de cette dernière doit être considérée comme le strict besoin d'entretien dans la mesure où l'excrétion endogène de P augmente linéairement avec l'ingéré. Cette perte minimale est obtenue quand l'apport alimentaire de P permet de satisfaire les besoins de l'animal (Braithwaite 1985, Guéguen *et al* 1987).

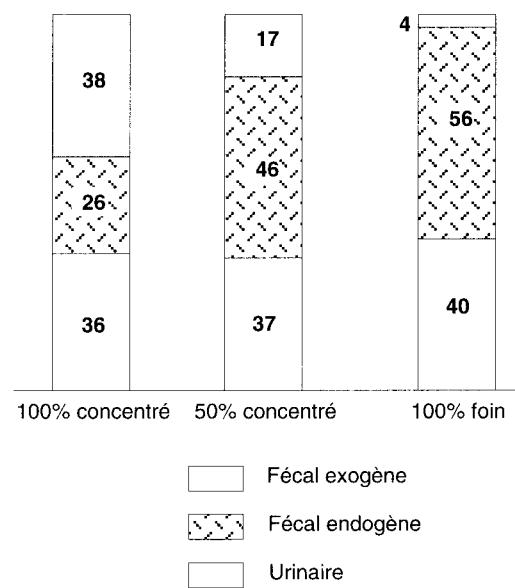
Les régimes alimentaires à base de fourrages entraînent une excretion endogène fécale nettement plus élevée que les régimes contenant une proportion importante d'aliments concentrés (figure 2). Pour l'évaluation du besoin d'entretien les mesures réalisées dans des conditions alimentaires normales pour un ruminant, c'est à dire avec des régimes à base de fourrages, ont été retenues pour l'élaboration des recommandations INRA. En revanche, les études ayant conduit à de faibles valeurs du besoin d'entretien ont été effectuées avec des régimes riches en aliments concentrés (jusqu'à 100 %) (ARC 1980 dont les données ont été reprises par le NRC 1988). Même si la proportion de concentrés peut être importante dans le cas de la vache laitière haute productrice, nos structures et modes de production visent à la valorisation maximale des fourrages, ce qui n'est pas nécessairement le cas dans d'autres pays.

Par ailleurs, des valeurs de perte endogène de P inférieures à 20 mg/kg de poids vif/j ont été obtenues sur des animaux carencés en P se trouvant dans des conditions physiologiques anormales : bilan phosphocalcique négatif, chute de l'appétit et de la phosphatémie (Field *et al* 1982, Boxebeld *et al* 1983, Meschy et Guéguen 1987).

De plus, pour tenir compte de la légère augmentation de la perte endogène avec la quantité de P absorbée (Braithwaite 1985) et avec le niveau de besoin dans le cas des fortes laitières (Bouchet et Guéguen 1983), la valeur du besoin d'entretien en P établi par l'INRA s'accroît avec le niveau de production laitière (1 mg supplémentaire par tranche de 5 l de lait).

Les valeurs rapportées dans le tableau 2 indiquent un meilleur accord pour le besoin net d'entretien de Ca. Toutefois, la prise en compte de travaux récents montrant que la perte endogène de Ca augmente avec la quan-

Figure 2. Répartition du phosphore excrétré selon la composition de la ration.



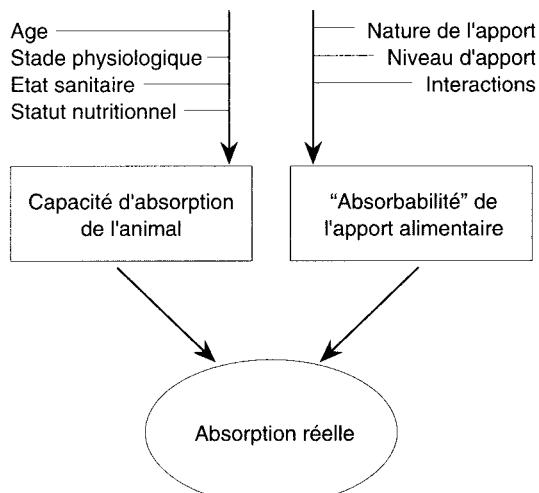
**Le besoin d'entretien en P est plus élevé dans le système français : il a été déterminé avec des rations à base de fourrages, c'est-à-dire dans des conditions habituelles d'alimentation.**

tité de MS ingérée (Braithwaite 1983, Field *et al* 1985, Chrisp *et al* 1989) a amené l'INRA à moduler là aussi la valeur du besoin net d'entretien : majoration de 1 mg/kg de MS supplémentaire ingérée.

#### b / Le coefficient d'absorption réelle

Les valeurs du tableau 3 montrent une bonne convergence entre les "normes" soviétiques, américaines et françaises tant pour le CAR de P que pour celui de Ca. Ces recommandations s'accordent pour adopter une marge de sécurité afin de tenir compte des variations individuelles (le coefficient de variation observé lors de mesures sur animaux est de l'ordre de 10 %) et il est logique d'introduire cette marge de sécurité au niveau du facteur le plus variable : le CAR (figure 3) ; ceci explique que les valeurs retenues puissent être légèrement inférieures à la moyenne des résultats expérimentaux.

Figure 3. Facteurs de variations de l'absorption réelle des minéraux.



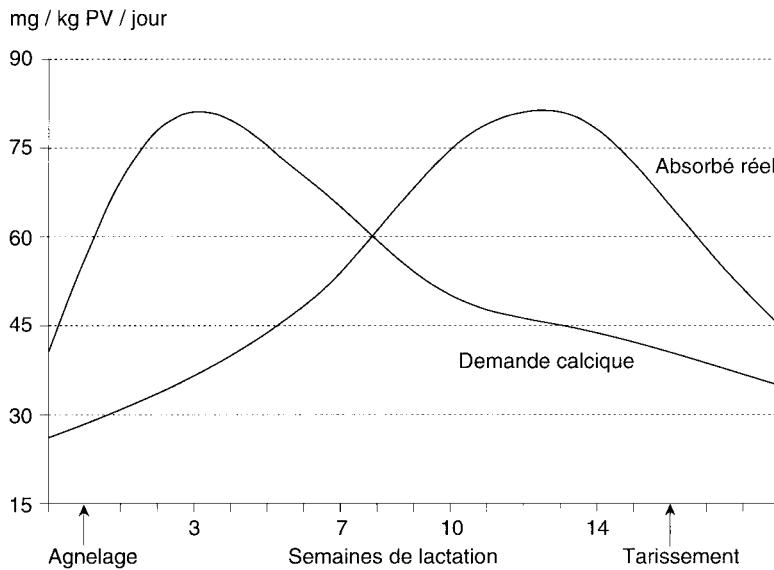
**Les coefficients d'absorption réelle du calcium retenus par l'INRA sont plus faibles que dans les autres systèmes : ils comportent une marge de sécurité pour tenir compte de la variabilité individuelle.**

Les valeurs élevées retenues par l'ARC (1980) doivent être considérées, selon les auteurs eux-mêmes, comme des valeurs maximum supposant une adaptation parfaite de la capacité d'absorption intestinale et n'intégrant aucune marge de sécurité. Les CAR élevés du SCA (1990) sont supposés inclure une marge de sécurité, ce qui rend encore plus surprenants les chiffres retenus.

## 1.2 / Les recommandations pratiques d'apports

Le besoin alimentaire strict est obtenu en multipliant la somme des besoins nets (entretien, croissance, gestation et lactation) par 100/CAR et correspond au besoin alimentaire au "jour le jour". La prise en compte de certaines particularités physiologiques conduit à raisonner l'apport minéral en termes de stratégie ce qui est particulièrement important dans le cas de la vache laitière. En effet, dans le cadre de la prévention des accidents métaboliques, les recommandations pratiques d'apport peuvent être temporairement inférieures (pour stimuler la mobilisation minérale osseuse en début de lactation dans le cas de la fièvre vitulaire) ou supérieures (pour compenser la faible digestibilité du magnésium au cours des périodes où les crises de tétanie sont à craindre) aux besoins alimentaires stricts.

Figure 4. Variations de l'absorption et du besoin en calcium de la brebis selon le stade physiologique (Braithwaite 1983).



Pour la vache en lactation, il importe de raisonner l'apport phosphocalcique sur la totalité du cycle de production. Braithwaite (1983) a montré sur brebis que s'il existe un phénomène d'adaptation de l'absorption de Ca (et de P) durant la lactation, celui-ci est décalé dans le temps et ne devient sensible qu'à mi-lactation environ. Au début du cycle de production, et quel que soit le niveau d'apport, la femelle laitière est incapable d'absorber suffisamment de

Ca pour faire face à ses besoins ; en revanche, pendant la seconde moitié de la lactation, l'absorption calcique peut être sensiblement supérieure à la demande (figure 4).

La mobilisation des réserves minérales osseuses est un processus physiologique inévitable en début de lactation et il faut profiter, pour les reconstituer, de la capacité d'absorption plus élevée pendant la deuxième partie de la lactation. De plus, la brebis allaitante n'est certainement pas le meilleur modèle de la vache laitière haute productrice pour laquelle il est permis de penser que ce phénomène est au moins équivalent.

En conséquence, les recommandations de l'INRA proposent des apports modulés selon le stade de lactation : légèrement inférieurs aux besoins alimentaires stricts au début du cycle et un peu supérieurs pendant la seconde moitié. Pour simplifier les techniques de rationnement, l'effet du stade de lactation a été pris en compte dans l'effet du niveau de production laitière : apports limités au delà de 30 l de lait par jour et supérieurs aux besoins pour des productions plus faibles.

Les limites de validité de cette méthode se situent à des niveaux de production compris entre 5000 et 9000 l de lait. Pour des productions plus élevées il semble difficile d'éviter une certaine fonte osseuse après plusieurs lactations ; par contre, pour des productions inférieures à 5000 l l'apport phosphocalcique est légèrement excédentaire.

## 2 / Oligo-éléments

Le tableau 4 indique les différentes recommandations d'apports en oligo-éléments. Mises à part les valeurs de l'ARC (1980), qui sont des besoins minima comparables aux seuils de carence retenus par les autres organismes (NRC et INRA), les valeurs des autres systèmes sont similaires. Il faut rappeler que le besoin en oligo-éléments n'est pas établi par la méthode factorielle (figure 5) et que la marge de sécurité adoptée peut varier quelque peu d'un système à l'autre. A titre d'exemple, la

Figure 5. Evaluation des besoins en oligo-éléments.

Etat physiologique  
Niveau de production

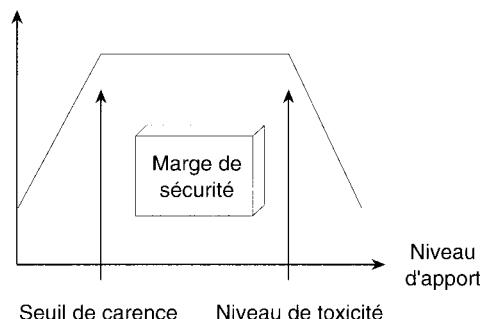


Tableau 4. *Apports recommandés en oligo-éléments (mg/kg de la ration sèche totale)*

Références	Cu	Zn	Mn	Se	I	Co
INRA 1978	10	50	50	0,1	0,2-0,8	0,1
ARC 1980 <sup>1</sup>	7	25	25	0,03	0,5	0,08
NRC 1988	10	40	40	0,3	0,6	0,1
INRA 1988	10	50	50	0,1	0,2-0,8	0,1

<sup>1</sup>: Besoin minimum

réévaluation apparente de l'apport en sélénum par le NRC 1988 (en fait de 0,1 à 0,3 ppm) s'explique par une plus grande marge de sécurité pour cet élément tenant compte en particulier des facteurs qui peuvent entraîner une diminution de sa disponibilité (nature chimique de l'apport, interférences possibles). De plus, l'apport de Se doit se raisonner dans son équilibre avec la vitamine E, notamment dans le cadre de la prévention des troubles de la parturition (rétention placentaire, métrites...) où la synergie entre Se et vitamine E est bien connue chez le ruminant.

## Conclusion

En conclusion, si les recommandations d'apport minéral sont moins discordantes qu'elles ne l'ont été, des différences subsistent notamment en ce qui concerne l'apport phosphocalcique.

Les recommandations françaises intègrent les résultats de travaux récents tant pour les bases théoriques de calcul des besoins que pour la stratégie d'apport. Pour ce dernier point, il serait souhaitable de pouvoir poursuivre les travaux, si possible avec un meilleur

modèle que la brebis, dans le but de quantifier avec davantage de précision l'amplitude du phénomène mobilisation-reconstitution des réserves minérales osseuses. Il est possible, notamment avec les plus fortes laitières, que l'intensité et la durée de la mobilisation minérale osseuse de début de lactation atteignent des valeurs supérieures à celles qui ont été adoptées pour les recommandations de l'INRA. De même, des incertitudes subsistent au sujet de l'efficacité et du niveau de restauration de ces réserves.

Il convient ensuite de rappeler que, comme pour les autres catégories de besoin alimentaire, les recommandations d'apport minéral sont établies pour un animal-type placé dans des conditions alimentaires et sanitaires "normales" et que, lorsque l'on s'en écarte sensiblement (acidose par exemple), elles peuvent se révéler insuffisantes ou excessives.

Il faut enfin souligner que les différentes normes d'apport sont établies pour un système de production défini ; elles possèdent une cohérence interne : INRA 78 ou 88 sont basés sur une meilleure prise en compte de la physiologie du ruminant et avec un objectif de valorisation des fourrages qui demeure la base de notre système de production.

## Références bibliographiques

- Annenkov, B. N., 1979. Mineral feeding of cattle. In : Georgievskii, V.I. ; Annenkov, B.N. ; Samokhin, V.I. (ed), Mineral nutrition of animals (traduit en anglais en 1982). 285-320. Butterworth, London.
- ARC, Agricultural Research Council, 1980. The Nutrient Requirements of Farm Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough.
- Bouchet, J. P., Guéguen, L., 1983. Particularités de la nutrition minérale des vaches à haut potentiel de production. Bull. Tech. C.R.V.Z. Theix INRA, 53, 85-99.
- Braithwaite, G. D., 1983. Calcium and phosphorus requirements of the ewe in pregnancy and lactation. 1. Calcium. Brit. J. Nutr., 50, 711-722.
- Braithwaite, G. D., 1985. Endogenous faecal loss of phosphorus in growing lambs and the calculation of phosphorus requirements. J. agric. Sci. Camb., 105, 67-72.
- Chriss, J. S., Sykes, A. R., Grace, N. D., 1989. Faecal endogenous loss of calcium in young sheep. Brit. J. Nutr., 61, 59-65.
- Field, A. C., Coop, R. L., Dingwall, R. A., Munro, C. S., 1982. The phosphorus requirement for growth and maintenance of sheep. J. agric. Sci. Camb., 103, 283-291.
- Field, A. C., Woolliams, J. A., Dingwall, R. A., 1985. The effect of dietary intake of calcium and dry matter on the absorption and excretion of calcium and phosphorus by growing lambs. J. agric. Sci. Camb., 105, 237-243.
- Guéguen, L., 1982. French recommended dietary allowances for calcium and phosphorus in cattle and sheep. Proceedings of the 33 th Eur. Ass. anim. Prod. meeting, Leningrad.
- Guéguen, L., Durand, M., Meschy, F., 1987. Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. Bull. Techn. CRVZ Theix INRA, 70, 105-112.

- Guéguen, L., Meschy, F., Durand, M., 1989. Recent progress in the assessment of phosphorus and calcium requirements of ruminants. Proceedings of the International meeting on mineral nutrition and mineral requirements in ruminants, Kyoto Japan 3-4 September 1989. 123-126. Showado Insatsu Co, Kyoto.
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique, 1978. Alimentation des ruminants. INRA Publications, Versailles.
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins., R. Jarrige (ed.). INRA Publications, Paris.
- Meschy, F., Guéguen, L., 1987. Estimation of minimum phosphorus requirement for maintenance in sheep. Proceedings of the 38 th Eur. Ass. anim. Prod. meeting, Lisbon.
- NRC, National Research Council 1988. Nutrient requirement of dairy cattle. National Academy Press, Washington, D.C.
- SCA, Standing Committee on Agriculture, 1990. Feeding standards for Australian livestock Ruminants. CSIRO, East Melbourne.
- Scott, D., Buchan, W., 1985. The effect of feeding either roughage or concentrate diets on salivary phosphorus secretion, net intestinal absorption and urinary excretion in the sheep. Quart. J. Exp. Physiol., 70, 365-375.

## Summary

### *Mineral requirements of dairy cows, comparison of different systems.*

There is good international agreement for dietary allowances of Mg, Na, K, S and trace elements. Nevertheless, some discrepancies still exist for maintenance requirement of P and true absorption of Ca. The low level of P for maintenance in the NRC system (1988) is reliable for low forage level diets in which the recycling of P via saliva is also low. True absorption of Ca ranges between 35 and 38 % in almost all systems, except the Australian one (60 %). This data results probably from a good adaptation to very low calcium levels in the diet, but this is not representative of practical conditions of animal feeding. Data for

growth, pregnancy and lactation are very close in the different systems.

French recommendations (INRA 1978 and 1988) are in fact practical dietary allowances with a safety margin included, their objective is to satisfy mineral requirements of all animals. These data also take into account the bone mineral mobilisation at the beginning of the lactation. These recommendations are normally higher than minimum mineral requirements.

MESCHY F., GUÉGUEN L. 1992. Alimentation des vaches laitières : comparaison des recommandations d'apports en minéraux. INRA Prod. Anim., 5 (4), 283-288.