

Recommandations d'apport en phosphore absorbé chez les ruminants

F. MESCHY

UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05

RESUME

La prise en compte de la dimension environnementale de l'alimentation animale nécessite la révision des apports alimentaires recommandés, notamment en phosphore (P). L'analyse quantitative de la bibliographie et de nouvelles données expérimentales permettent d'actualiser les recommandations d'apport alimentaire en P pour les ruminants. Les modifications par rapport aux systèmes antérieurs concernent principalement l'évaluation du besoin d'entretien (BE) et surtout l'efficacité de l'absorption digestive de P (CAR). Le besoin d'entretien (g/j) est désormais exprimé en fonction de la matière sèche ingérée (kg MSI/j) et du poids vif des animaux (PV ; kg). Pour les bovins $BE = 0,83 \text{ MSI} + 0,002 \text{ PV}$ et pour les petits ruminants $BE = 0,905 \text{ MSI} + 0,3 + 0,002 \text{ PV}$. Le CAR varie selon les aliments de 60 à 90 % ; il est fixé à 65 % pour les phosphates alimentaires. Cette révision conduit à une réduction de l'apport alimentaire de P de l'ordre de 15 % ce qui doit permettre une réduction des rejets de l'ordre de 25-30 %. Ces nouvelles recommandations sont en bon accord avec les prescriptions étrangères récentes.

Absorbed phosphorus requirements in ruminants

F. MESCHY

UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05

SUMMARY

Faced to new challenges as protection of the environment animal nutrition needs a re-assessment of nutritional allowances, especially for phosphorus (P). A meta analysis of literature and some recent experimental data allow a recommendation system based on absorbed P. Major changes in relation to former systems concern maintenance requirement (MR) and principally the true absorption of the components of the diet (TAC). MR (g/d) is now related to dry matter intake (DMI; kg/d) and body weight (BW; kg) of animals. $MR = 0.83 \text{ DMI} + 0.002 \text{ BW}$ for cattle and $MR = 0.905 \text{ DMI} + 0.3 + 0.002 \text{ BW}$ for small ruminants. TAC varies from 60 to 90 % for feedstuffs, it is set at 65 % for feed phosphates. This re-assessment leads to a reduction of around 15 % of dietary P supply that may allows a P reduction in ruminant wastes of around 25 %. These new recommendations are in good agreement with recent international standards.

INTRODUCTION

Les productions animales sont aujourd'hui confrontées à des objectifs autres que la productivité, comme par exemple la qualité nutritionnelle du lait et de la viande ou le respect de l'environnement. Des rejets excessifs en phosphore (P) dans les effluents d'élevage contribuent à la détérioration des eaux de surface (eutrophisation). En France sur les 300 000 t de P annuellement rejetées par les productions animales, 70 % environ sont attribuables aux élevages de ruminants (Guéguen, 1993).

Il est vrai qu'une part, non négligeable, est recyclée dans les productions fourragères (Meschy et Guéguen, 1998). Il n'en demeure pas moins que l'on doit s'interroger sur l'adéquation des apports alimentaires recommandés aux besoins des animaux.

Le système français (INRA, 1978 et 1998) a été établi pour des systèmes de production et des animaux (génétique et niveaux de production) de l'époque, on peut s'interroger sur leur évolution. Le regain d'intérêt pour les recherches sur la nutrition phosphorée des ruminants aussi bien aux Etats Unis qu'en Europe (deux ou trois équipes en 1995 – dont la nôtre –, une douzaine aujourd'hui) indique l'importance de l'enjeu.

Il semble donc nécessaire de réévaluer, à la lumière de résultats récents et d'une analyse quantitative de données plus anciennes, le niveau de l'apport alimentaire en P des ruminants.

1. LIMITES DES SYSTEMES ACTUELS

Les systèmes de recommandations d'apport en phosphore actuellement en vigueur en Allemagne (GfE, 1993) aux Etats Unis (NRC, 2001), en France (INRA, 1988) aux Pays Bas (NCMN, 1973 ; Valk et Beynen, 2002) en Suisse (FAG, 1994) utilisent une démarche factorielle qui consiste, d'une part à déterminer les besoins physiologiques des animaux (entretien, croissance, gestation et lactation) exprimés en P absorbé (ou net) et, d'autre part, à évaluer l'efficacité de l'absorption digestive du phosphore ou coefficient d'absorption réelle (CAR). Les besoins stricts des animaux résultent de la division de la somme des besoins physiologiques par le CAR. Les apports recommandés intègrent, en plus une marge de sécurité pour prendre en compte les variations individuelles, de composition, analytiques...

Ces recommandations, à l'exception de celles du NRC (2001), sont exprimées en P brut pour faciliter la confrontation entre apports recommandés et concentration en P des rations. Il convient de souligner que ces apports recommandés ont été établis pour un animal « moyen » placé dans des conditions sanitaires et alimentaires « normales ». Nous ne reviendrons pas sur ces aspects (Meschy et Guéguen, 1998) mais la nature et la structure des rations distribuées aux ruminants devraient aussi être prises en compte. Il existe un bon accord international sur la quantification des besoins physiologiques nets de croissance, gestation et lactation. Cependant il n'en va pas de même pour le besoin d'entretien et pour le CAR (Meschy et Guéguen, 1996).

1.1. BESOIN D'ENTRETIEN EN PHOSPHORE

Pour le phosphore, contrairement aux autres éléments minéraux majeurs, le besoin d'entretien ne peut être confondu avec les pertes endogènes. Il existe une relation linéaire entre la perte fécale endogène et le niveau de l'ingestion de P (Meschy et Guéguen, 1998). Au delà de sa part incompressible qui compose le besoin d'entretien sensu stricto, la perte fécale endogène constitue un émonctoire à l'excès métabolique de P absorbé (part variable qui représente un potentiel « flux polluant »).

Ceci indique qu'un apport alimentaire excessif de P est à la fois inutile pour l'animal et nuisible pour l'environnement. La perte fécale endogène est majoritairement (80 % pour Care,

1994) composé de P salivaire non réabsorbé. Il semblerait donc logique de prendre en considération, dans l'évaluation de cette perte, les facteurs qui modulent la production salivaire tels que la quantité de matière sèche ingérée (MSI), et la fibrosité (composantes physiques et chimiques) de la ration. AFRC (1991), FAG (1993), GfE (1993) et NRC (2001) rapportent déjà le besoin d'entretien à la MSI, le système INRA actuel prend indirectement en compte un effet MSI chez la vache laitière en majorant le besoin net d'entretien (23 mg/ kg PV) de 0,2 mg/ kg PV par litre de lait produit (Guéguen *et al.*, 1987). L'excrétion de phosphore dans l'urine est, en général une composante mineure du besoin d'entretien, cependant elle peut devenir importante avec des rations riches en concentrés (Bravo *et al.*, 1998), aspect non intégré dans les systèmes actuels.

1.2. ABSORPTION RÉELLE DU PHOSPHORE

Seule la fraction de l'apport alimentaire de phosphore réellement absorbée est susceptible de satisfaire les besoins d'entretien et de production de l'animal. L'évaluation du CAR nécessite d'identifier dans l'excrétion fécale totale (F) la part d'origine endogène (fe) :

$$CAR = ((Ing - (F - fe))/Ing) \times 100$$
 Ing est la quantité de phosphore ingérée.

Cette détermination fait généralement appel à des méthodes radio isotopiques (^{32}P). Le CAR intègre en fait des facteurs de variation liés à l'animal (espèce, âge et stade physiologique) et à la ration (qualité nutritionnelle de l'apport alimentaire). Les facteurs de variation d'origine animale sont pris en compte par l'utilisation de valeurs de CAR spécifiques selon l'espèce, l'âge (ou le poids) et le stade de lactation. Néanmoins, une valeur unique de CAR est adoptée pour un stade physiologique donné, ce qui revient à considérer que l'efficacité de l'absorption intestinale de P est identique pour toutes les rations et pour tous les composants d'une ration (fourrages, concentrés et sources minérales) et pour tous les animaux pris à ce stade quel que soit leur niveau de production et d'ingestion.

Pour tenir compte d'éventuelles variations de l'utilisation digestive de l'apport alimentaire une marge de sécurité (de l'ordre de 15 % pour P) est appliquée pour obtenir la valeur de CAR retenue pour le calcul des apports recommandés. Si elle était surestimée, cette marge de sécurité conduirait à un apport pléthorique et par conséquent à une charge polluante qu'il est souhaitable de réduire.

2. REVISION DES APPORTS RECOMMANDÉS EN PHOSPHORE

Un meilleur contrôle des rejets en P dans les effluents des ruminants compatible avec le maintien de performances zootechniques élevées nous a conduit à vérifier l'adéquation des apports recommandés (en particulier, des marges de sécurité adoptées en 1988) aux besoins des animaux. Ainsi, nous avons « revisité » les paramètres les plus sensibles de la méthode factorielle que sont le besoin d'entretien et le(s) CAR par une double approche bibliographique et expérimentale.

2.1. OUTILS

2.1.1. Meta-analyse des données de la littérature

En 1999 une base de données a été constituée (Bravo *et al.*, 2002a) à partir des publications concernant le métabolisme de P (travaux ayant mesuré l'excrétion fécale endogène de P). Cette base a été ensuite élargie aux publications parues entre 1999 et juillet 2002 et aux mesures indirectes de l'absorption réelle.

La base de données bibliographiques utilisée regroupe 106 publications (75 avec la mesure directe de l'endogène), 180 traitements et 652 groupes expérimentaux (451 avec mesure

directe de l'endogène). La répartition selon les espèces de ruminants est inégale : 154 traitements chez les ovins, 23 chez les bovins et seulement 3 chez les caprins. Un premier traitement statistique (modèle d'analyse de variance-covariance, Minitab version 12.2) a fait apparaître un effet significatif ($P < 0,001$) de l'espèce, de la teneur en phosphore des rations expérimentales et de l'expérience sur l'excrétion fécale endogène. La perte endogène rapportée au poids vif étant significativement différente ($P < 0,001$), nous avons constitué deux sous-bases (ovins et bovins, le nombre de publications concernant les caprins et répondant aux critères de la base était insuffisant) que nous avons analysées séparément.

Nous présenterons les résultats corrigés de l'effet expérience sous la forme n (nombre de groupes expérimentaux), n_{exp} (nombre d'expériences) R^2 (coefficient de détermination), etr (écart type résiduel) et p (signification statistique du modèle). Pour l'étude du CAR, nous avons exclu de la base les essais présentant un facteur d'interférence connu avec l'absorption du phosphore (surcharge en aluminium, ajout important de vitamine D ou d'hormone de croissance...).

2.1.2. Approche expérimentale

Pour pallier le manque d'informations concernant l'absorption réelle de certaines matières premières, des mesures indirectes du CAR du phosphore (modèle théorique des pertes endogènes, supplémentation par la matière première étudiée d'un régime de base carencé en phosphore) ont été conduites sur des aliments concentrés (Aguerre *et al*, 2002, Bravo *et al* 2002b), et des phosphates alimentaires (Meschy, 1998 ; Meschy *et al*, 2000). Les résultats de ces mesures ont été intégrés à la base de données pour l'étude de l'efficacité de l'absorption digestive des aliments.

2.2. RÉSULTATS

2.2.1 Prédiction du besoin d'entretien

Des modèles de prédiction de la perte fécale endogène ont été publiés mais il font parfois appel à des variables rarement disponibles, phosphore urinaire par exemple (Bravo *et al*, 2002a) et sont ainsi davantage du domaine de la recherche que du développement.

Il existe une liaison significative entre la perte fécale endogène (P_{ENDO} , g/j) et le phosphore ingéré (P_{ING} , g/j), aussi bien dans la base entière :

$P_{ENDO} = 0,618 P_{ING} - 1,04$
 $n = 428, n_{exp} = 124, R^2 = 0,98, etr = 0,96$ et $p < 0,001$
que dans la sous base ovins :

$P_{ENDO} = 0,276 P_{ING} + 0,39$
 $n = 340, n_{exp} = 124, R^2 = 0,92$ et $p < 0,001$
et que dans la sous base bovins :

$P_{ENDO} = 0,236 P_{ING} + 1,82$
 $n = 64, n_{exp} = 17, R^2 = 0,92, etr = 0,95$ et $p < 0,001$.

Dans certaines expériences P_{ING} est directement lié à la MSI et dans d'autres non (surcharges en P minéral par exemple). Pour cette raison, nous avons choisi de tester la teneur en P des rations (P_{REG} , g/kg de MS) qui est indépendante de la MSI.

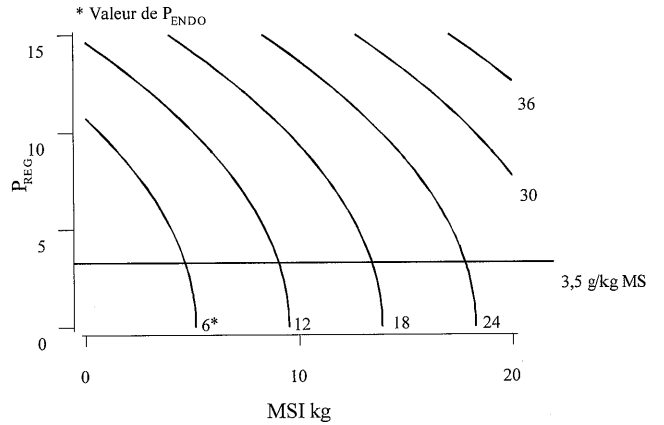
La figure 1 montre les effets « polluants » des concentrations élevées de P dans les rations sur la prédiction du besoin d'entretien par la MSI puisqu'ils conduisent à des excrétions fécales endogènes incluant la composante excrétoire évoquée plus haut.

La prédiction du véritable besoin d'entretien nécessite de savoir s'il existe un effet seuil de P_{REG} et, si oui, à partir de quelle valeur. Dans ce cas les données obtenues avec des concentrations inférieures à ce seuil peuvent être utilisées pour la prédiction du besoin d'entretien en phosphore à partir de la MSI. Nous avons recherché un effet quadratique de P_{REG} , ce qui correspond à une amplification de l'effet de P_{REG} avec le niveau de P_{REG} .

$P_{ENDO} = a + b MSI + c P_{REG} + d P_{REG}^2$.

Le coefficient d est significatif ($P < 0,001$) sur l'ensemble de la base ce qui confirme que l'effet de P_{REG} dépend du niveau de P_{REG} . Le coefficient d est significatif ($P = 0,002$) pour des valeurs de P_{REG} supérieures à 3,5 g/kg MS et non différent de 0 ($P = 0,934$) pour des valeurs inférieures.

Figure 1
Contribution de la MSI (kg/j) et de la teneur en phosphore des rations (P_{REG} , g/kg MS) à la perte fécale endogène (P_{ENDO} , g/j)

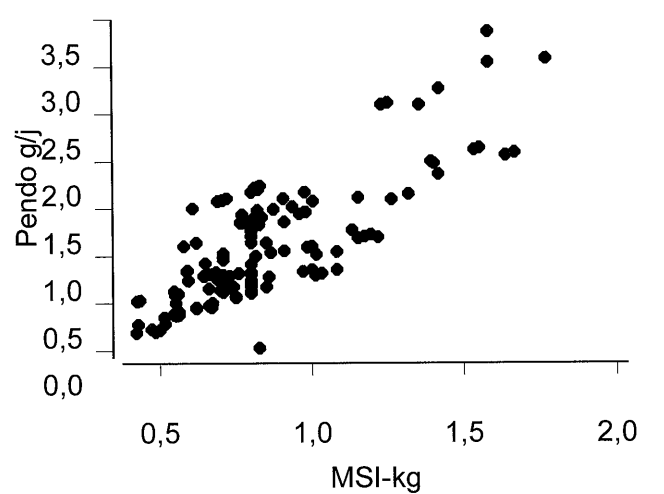


Seules les publications où la teneur en phosphore du régime est inférieure à ce seuil ont été utilisées.

Le traitement statistique ne montre pas d'effet significatif de la granulométrie (trop peu de données ?) ni, plus curieusement, de la fibrosité des rations (sur la base de la teneur en cellulose brute, souvent recalculée) probablement parce que de nombreuses données ont été obtenues sur des animaux en croissance qui reçoivent des quantités importantes d'aliments concentrés. Le niveau de calcium alimentaire n'a pas d'influence significative ($P = 0,868$) sur l'excrétion fécale endogène de phosphore.

La figure 2 montre la relation entre le besoin d'entretien et la MSI pour les ovins (les bovins ont été écartés pour rendre la figure plus lisible en raison de différences d'échelle, mais la tendance est similaire). Les équations de prédiction du besoin d'entretien (BE) tiennent donc uniquement compte de la MSI.

Figure 2
Relation entre perte fécale endogène et MSI chez les ovins



Pour les bovins, la part de l'excrétion fécale correspondant au besoin d'entretien (F_E) = $0,826 MSI - 0,45$,
 $n = 68, n_{exp} = 17 R^2 = 0,89, etr = 1,05$ et $p < 0,01$.

La constante n'étant pas différente de 0 ($P = 0,81$), nous retiendrons $F_E = 0,83 \text{ MSI}$; il convient d'y ajouter les pertes urinaires obligatoires que l'on peut estimer à 2 mg par kg de poids vif (Guéguen *et al*, 1987 ; NRC, 2001).

Donc, pour les bovins le besoin d'entretien (BE) est :
 $BE \text{ (g/j)} = 0,83 \text{ MSI (kg/j)} + 0,002 \text{ PV (kg)}$

Pour les vaches laitières (tableau 1), les valeurs indiquent une bonne cohérence entre les présentes propositions et INRA 1988, probablement due au facteur de correction PL/MSI déjà adopté en 1988. Pour les bovins en croissance l'équation conduit à une valeur très inférieure du besoin d'entretien, mais comparable à des résultats récents (Erickson *et al*, 2002).

Tableau 1
Besoin d'entretien en phosphore (g/j) des bovins comparaison des valeurs INRA, 1988 et des présentes recommandations

	INRA, 1988	Présentes recommandations
Vache laitière		
600 kg, 25 kg lait et 18 kg MSI	18,0	16,0
700 kg, 35 kg de lait et 23 kg MSI	21,0	20,5
750 kg, 45 kg de lait et 27 kg MSI	24,0	24,0j
Bovins en croissance		
300 kg PV, 6,5 kg MSI	7,5	6,3
450 kg PV, 8,4 kg MSI	11,25	7,9
600 kg, 9,6 kg MSI	15,0	9,2

Pour les ovins, $F_E = 0,905 \text{ MSI} + 0,30$, $n = 192$, $n_{exp} = 68$, $R^2 = 0,95$, $etr = 0,17$ et $p < 0,001$, la constante est différente de 0 ($P = 0,004$). La F_E est légèrement supérieure pour les ovins comme cela a déjà été signalé par Guéguen *et al* (1987). En tenant compte des pertes dans l'urine, l'équation suivante est utilisée pour le besoin d'entretien chez les ovins.

$BE \text{ (g/j)} = 0,905 \text{ MSI (kg/j)} + 0,30 + 0,002 \text{ PV (kg)}$

Pour les caprins, faute de données expérimentales suffisantes dans notre base de données, nous appliquons l'équation utilisée pour les ovins qui conduit à des données légèrement supérieures à la prédiction proposée par Dieter et Pfeffer (1993) basée sur l'excrétion fécale totale chez des animaux carencés.

Ces données sont comparées aux valeurs INRA, 1988 dans le tableau 2.

Tableau 2
Besoin d'entretien en phosphore (g/j) des petits ruminants, comparaison des valeurs INRA, 1988 et des présentes propositions

	PV (kg)	MSI (kg)	INRA 1988	Présentes propositions
Agneau	20	0,9	0,6 g/j	0,8 g/j
	30	1,2	0,9	1,1
	40	1,6	1,2	1,3
Brebis				
- Repos	80	1,7	2,4	1,8
- Début de lact.	80	2,6	2,4	2,6
Chèvre laitière				
- 2 kg de lait	70	2,1	2,1	2,3
- 4 kg de lait	70	2,7	2,1	2,7
- 6 kg de lait	70	3,3	2,1	3,3

2.2.2 Absorption réelle de l'apport alimentaire
Contrairement à ce qui est parfois rapporté dans la littérature, aucun effet global de P_{ING} n'a été observé sur le CAR (figure 3).

Figure 3
Relation entre le coefficient d'absorption réelle et le niveau d'ingestion du phosphore chez les ovins

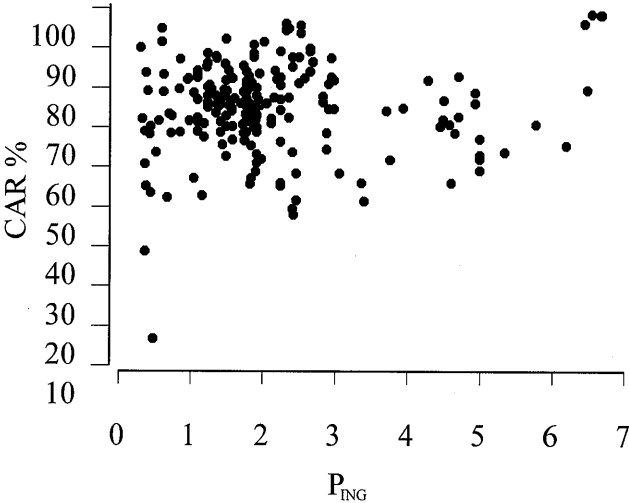


Tableau 3
Valeurs d'absorption réelle du phosphore des aliments des ruminants (entre parenthèses, nombre d'essais)

Aliment	Moyenne	Ecart type	Valeur retenue	Aliment (suite)	Moyenne	Ecart type	Valeur retenue
Graminées fourragères				Légumineuses fourragères			
Ensilage d'herbe (5)	63,6	3,4	60	Ensilage de luzerne (2)	66,2	1,6	65
Ensilage de maïs (7)	75,8	5,7	70	Foin de luzerne (16)	76,4	19,6	60
Foin (19)	77,4	6,9	70	Luzerne déshydratée (6)	77,4	3,6	74
Herbe déshydratée (3)	76,9	4,0	73	Trèfle (3)	72,4	3,2	69
Ray grass (12)	68,4	8,8	60	Moyenne (27)	74,4	9,9	65
Moyenne (46)	73,0	7,0	66				
Céréales				Tourteaux			
Blé (3)	79,8	7,2	72	Arachide (1)	69,2		65
Orge (3)	81,4	4,2	76	Colza (5)	73,5	2,7	71
Moyenne (6)	80,6	5,4	75	Coton (1)	67		63
				Lin (1)	70,7		67
Co produits de céréales				Soja (7)	75,2	4,9	70
Son de riz (4)	69,3	5,4	64	Tournesol (2)	69,3	3,1	65
Drèches de brasserie (1)	83,0		78	Moyenne (17)	72,0	3,7	68
Gluten de maïs (5)	73,9	5,9	68				
Moyenne (10)	73,9	7,0	68	Divers			
				Pulpes de betteraves (2)	93,2	2,4	90
Concentrés (25) *	78,6	9,0	70	Graines de coton (2)	78,1	4,1	74
				Farine de poisson (3)	87,6	3,1	85

* En général un mélange de céréales et de tourteaux.

En revanche, un effet matière première (MP) ou famille de MP (céréales, co- produits, tourteaux, fourrages de graminées ou de légumineuses ou mélanges des deux, graines oléagineuses, pâturage, phosphates...) est toujours significatif ($P < 0,001$), ce qui indique que les différents composants des rations n'ont pas la même qualité nutritionnelle pour ce qui est de l'alimentation en phosphore des ruminants.

L'origine des données utilisées est plus large que pour l'étude du besoin d'entretien puisque nous avons inclus dans la base de données des mesures indirectes de l'utilisation digestive du phosphore des aliments. Lorsque cela était possible et que la matière première (MP) assurait un apport significatif, de l'ordre de 70 % du phosphore total, le CAR a été calculé.

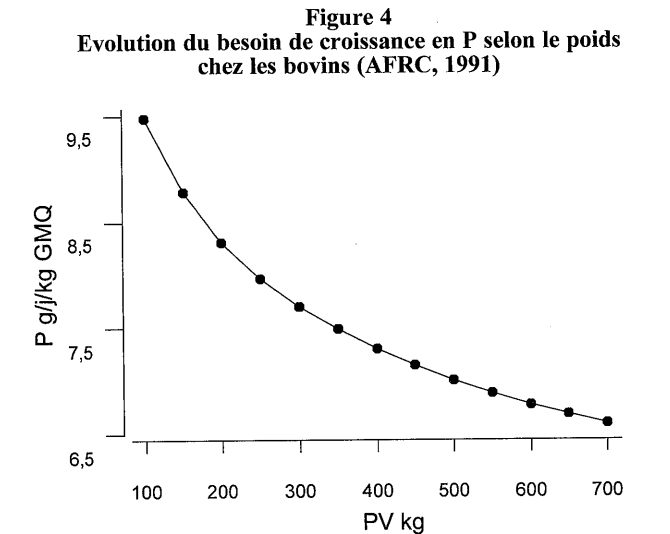
Le tableau 3 présente les valeurs de CAR pour les principaux aliments des ruminants. Les moyennes de familles sont pondérées par la racine carrée du nombre d'essais de chaque membre de la famille. Les valeurs retenues tiennent compte d'une marge de sécurité (en général un écart-type) pour intégrer les variations éventuelles. Lorsque les données disponibles ne proviennent que d'un seul essai, l'écart type de la famille a été appliqué. Les écarts observés (de 60 à 90 %) justifient pleinement la prise en compte de ce facteur dans la détermination des recommandations d'apport en phosphore pour les ruminants. Il est évident que ces valeurs ne sont pas figées et évolueront avec les nouveaux résultats expérimentaux.

Les CAR des phosphates ont été recalculés à partir des données récentes de valeur biologique relative (EMFEMA, 2002). La faible et non significative différence entre les sources chez le ruminant justifie l'adoption d'une valeur unique de CAR de 65 %.

2.3. RECOMMANDATIONS D'APPORT EN PHOSPHORE ABSORBÉ

Les données qui précèdent permettent d'envisager un système d'apports alimentaires recommandés en phosphore absorbé (pour les éléments minéraux, ce terme est préférable à celui de digestible) pour les ruminants. Les besoins sont en effet exprimés dans cette unité et les apports peuvent l'être également ($P \text{ absorbé} = P \text{ total} \times \text{CAR} / 100$).

Pour les besoins physiologiques de croissance et de gestation, nous adoptons les équations suivantes qui ne conduisent pas à des valeurs moyennes très différentes de celles retenues en 1988 mais présentent l'avantage de tenir compte de l'évolution de la composition minérale du croît ou du fœtus (pour les bovins) en fonction du temps (figure 4)



Croissance :

Tout comme le NRC (2001), nous retenons les équations proposées en 1991 par l'AFRC

$$\text{Bovins} = (1,2 + 4,655 \text{PVad}^{0,22} \times \text{PV}^{-0,22}) \times \text{GMQ}$$

$$\text{Petits ruminants} : (1,2 + 3,188 \text{PVad}^{0,28} \times \text{PV}^{-0,28}) \times \text{GMQ}$$

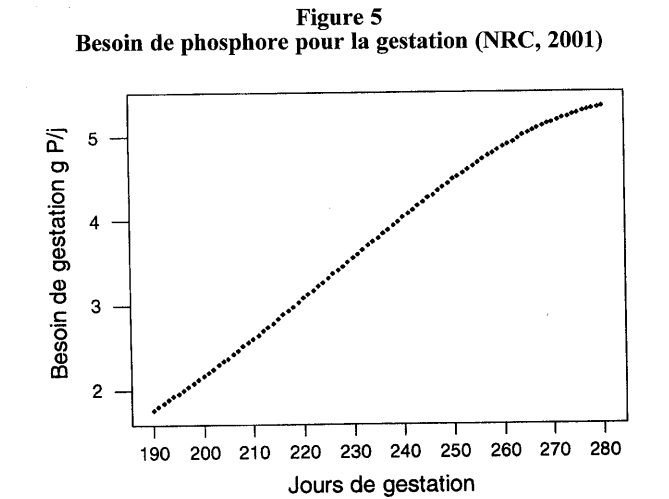
PVad est le poids vif adulte en kg, PV est le poids vif en kg et GMQ est la vitesse de croissance en kg.

Gestation (dernier tiers) :

Bovins (House et Bell, 1993)

$$0,02743^{e(0,05527-0,0000750)t} - 0,02743^{e(0,05527-0,000075(t-1))(t-1)} \text{ où } t \text{ est le nombre de jours de gestation.}$$

Le besoin quotidien de gestation ainsi calculé varie de moins de 2 g au début du sixième mois à plus de 5 g en fin de gestation (figure 5).



Petits ruminants

Nous ne retenons pas le modèle de l'AFRC (1991) qui conduit à une importante sous-estimation du besoin de gestation des petits ruminants, surtout pour la chèvre. Durant les six dernières semaines de la gestation, et selon la taille de la portée le besoin quotidien de phosphore est de 0,4 à 0,9 g pour la brebis (Guéguen *et al*, 1987) et de 0,6 à 1,2 g pour la chèvre (Meschy, 2000).

Lactation : le besoin est directement déduit de la teneur moyenne en phosphore par litre de lait : 0,9 g pour la vache, et 1,5 g pour la brebis (Guéguen *et al*, 1987) et 0,95 g pour la chèvre (Pfeffer et Rodehutsord, 1998).

Cette nouvelle approche ne conduit pas à de profondes modification des valeurs adoptées en 1988 pour les besoins physiologiques nets en phosphore des ruminants. Toutefois le besoin d'entretien des animaux ayant des niveaux de production élevés est légèrement augmenté. En revanche, le choix de valeurs de CAR spécifiques avec des marges de sécurité réduites se traduit par une diminution de l'apport recommandé en phosphore de l'ordre de 15 à 20 %.

Les présentes recommandations d'apport en phosphore absorbé pour les vaches laitières sont en bon accord avec les publications étrangères récentes (tableau 4).

Tableau 4
Comparaison des recommandations d'apport en phosphore
absorbé en g/j chez la vache laitière (PV 700 kg, 35 kg de lait
et 23 kg de MSI)

	NRC	Valk et	Présentes
	2001	Beynen 2002	recommandations
Entretien	23,0	20,9	20,5
Production	31,5	31,5	31,5
Total	54,5	52,4	52,0

La prévision du besoin d'entretien par le NRC ($BE = 1 \times MSI \text{ (kg)} + 0,002PV$) conduit à une valeur un peu plus élevée ; par contre l'approche hollandaise basée sur la production salivaire : $BE = ((\text{Flux salivaire} \times \text{concentration en P de la salive}) / \text{proportion de l'endogène d'origine salivaire}) \times (1 - \text{absorption réelle du phosphore salivaire})$ aboutit à des valeurs similaires à celles que nous proposons.

Les CAR retenus par ces systèmes sont soit une valeur unique de 70 % (Valk et Beynen, 2002), soit une valeur de 64 % pour les fourrages, de 70 % pour les concentrés et de 75 à 90 % pour les phosphates (NRC, 2001) ; l'efficacité de l'absorption des fourrages nous semble un peu sous-estimée et celle des phosphates largement surestimée.

Chez la vache laitière haute productrice, des études à relativement long terme (deux ou trois lactations) n'ont pas montré d'effet significatif d'une réduction de même ampleur de l'apport en phosphore sur la production laitière ou les paramètres de reproduction (Wu *et al.*, 2001 ; Valk et Beynen, 2002). Toutefois, une diminution des cendres totales de l'os sans modification de la teneur en P des cendres ni de la résistance à la fracture (Wu *et al.*, 2001) pourrait expliquer une adaptation de la concentration en P de la salive lorsque l'apport alimentaire en phosphore est faible (Valk et Beynen, 2002). Chez les bovins en croissance 76 % de l'apport recommandé (NRC, 1989) n'ont pas altéré les performances ni les paramètres métaboliques tels que la teneur en cendres de l'os ou la concentration plasmatique en phosphore (Erickson *et al.*, 2002).

2.4. BESOINS EN PHOSPHORE DES MICRO ORGANISMES DU RUMEN

Compte tenu de la forte teneur en P des cellules bactériennes les besoins en phosphore des micro organismes du rumen, notamment des bactéries cellulolytiques, sont particulièrement élevés : entre deux et trois fois ceux de l'animal (Scott et McLean, 1981), de l'ordre de 4,5 g de P par kg de matière organique digestible (Guéguen *et al.*, 1987 ; Komisarczuk-Bony et Durand, 1991). Ce besoin est satisfait par la libération du phosphore de la ration dans le rumen et surtout par le recyclage salivaire de P, lui même fortement dépendant du niveau de l'apport alimentaire et de l'intensité de la mastication. De plus un certain nombre de travaux récents ont mis en évidence des cinétiques de libération du phosphore dans le rumen très différentes selon les matières premières (Bravo *et al.*, 2000 ; Sehested et Weisbjerg, 2002) et un effet dépressif très marqué de certains traitements technologiques tels que la chaleur ou le tannage par le formol sur la libération de P dans le rumen (Konichi *et al.*, 1999 ; Park *et al.*, 1999, Bravo *et al.*, 2000).

Tous ces résultats ont été obtenus par la méthode des sachets nylon et donnent de précieuses informations sur l'aliment, mais aucune sur la réponse de l'animal (régime standard). La question des effets de la réduction de l'apport alimentaire de P sur l'activité bactérienne dans le rumen est donc posée. Dans des études *in vitro*, Durand *et al.* (1989) ont montré une diminution significative de la cellulolyse lorsque l'apport

de phosphore était réduit de 30 %. En revanche, une réduction de 20 % de l'apport de phosphore n'a pas modifié la digestibilité de la matière sèche (dMS) chez la vache laitière dans une série de 6 mesures de bilan sur deux lactations (Valk *et al.*, 2002). Ces résultats, apparemment contradictoires soulignent vraisemblablement l'importance du recyclage salivaire du phosphore.

La digestibilité de la cellulose *in vitro* (De Acurero *et al.*, 1993) est supérieure avec des phosphates solubles (monocalcique et diammonique) comparés à des formes insolubles (bicalcique et tricalcique). Nous ne retrouvons pas cet effet sur la dMS (données non publiées) chez la chèvre recevant des régimes semi-synthétiques enrichis en phosphate monocalcique (dMS 75,1 %) ou bicalcique (dMS 75,8 %) avec, il est vrai, un apport couvrant largement les besoins. Il n'existe pas de travaux publiés ayant spécifiquement étudié *in vivo* l'effet de la vitesse de libération dans le rumen du phosphore des aliments sur l'efficacité des populations microbiennes avec le niveau d'apport alimentaire mentionné dans ce rapport (essais en cours au laboratoire).

Dans l'attente de données nouvelles et plus précises, nous considérons que le recyclage salivaire suffit à la couverture des besoins en phosphore des microorganismes du rumen.

CONCLUSION

Les recommandations présentées ici ne constituent pas une profonde remise en cause de la démarche adoptée en 1988 mais conduisent à une diminution des marges de sécurité, souvent larges en raison de données expérimentales insuffisantes à l'époque, en particulier pour l'efficacité de l'absorption digestive de P. L'application de ces recommandations présente l'avantage d'une meilleure évaluation des valeurs des aliments. Elle doit permettre une réduction des rejets en P dans les effluents d'élevage de l'ordre de 20 à 25 %, ce qui est loin d'être négligeable ; cette valeur est similaire à celle prévue par le nouveau système hollandais (Valk, communication personnelle). Il est également vrai que plus on approche le besoin strict de l'animal et plus le « droit à l'erreur » diminue : les éleveurs devront être très vigilants vis-à-vis des facteurs susceptibles d'altérer la production salivaire par exemple. Le développement de modèles mécanistes du métabolisme du phosphore et des variations du flux salivaire en fonction de caractéristiques qualitatives et quantitatives de la ration devraient permettre de préciser cette marge de manœuvre.

AFRC, Agricultural and Food Research Council 1991. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B), 61, 573-612.

Aguerre, M.J., Marçot, S., Henselmeyer, H., Satter, L.D. 2002. J. Dairy Sci. 85 Suppl. 1, 187.

Bravo, D. ; Meschy, F. ; Bogaert, C. et Sauvart, D. 1998. Renc. Rech. Ruminants, 5, 245-248.

Bravo, D. ; Meschy, F. ; Bogaert, C. et Sauvart, D. 2000. Reprod. Nutr. Dev. 40, 149-162.

Bravo, D. ; Meschy, F. ; Bogaert, C. et Sauvart, D. 2002a. Reprod. Nutr. Dev. (sous presse).

Bravo, D. ; Meschy, F. ; Bogaert, C. et Sauvart, D. 2002b. Anim. Feed Sci. Technol. 99, 73-95.

Care, A.D., 1994. Brit. Vet. J., 150, 197-205.

De Acurero, M.M., Capó, E., Chicco, C.F., Godoy de Leon, S., Acurero, G., Quintana, H., 1993. Zootechnia Tropical. 11, 3-12.

Dietert, C. Pfeffer, E. 1993. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 69, 12-21.

Durand, M., Komisarczuk-Bony, S., Meschy, F. 1989. Recent progress on mineral nutrition and mineral requirements in ruminants 27-34. Proc. Int. Meeting Min. Nutr. Ruminants. Kyoto.

EMFEMA, International Association of the European Manufacturers of Major, Trace and Specific feed Mineral Materials. 2002. Study on the bioavailability of major and trace minerals. Brussels.

- Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Milton, C.T., Brink, D., Orth, M.W., Whittet, K.M. 2002. *J. Anim. Sci.* 80, 1690-1695.
- FAG, Station Fédérale de Recherches sur la Production Animale 1994. Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour les ruminants. Zollikofen: LMZ GfE, Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. 1993. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 42, 108-113.
- Guéguen, L. ; Durand, M., Meschy, F. 1987. *Bull. Tech. CRVZ Theix INRA.* 70, 105-112.
- Guéguen, L. ; Lamand, M. et Meschy, F. 1988. In Jarrige, R. (ed), *Alimentation des bovins, ovins & caprins.* 95-111. INRA, Paris.
- Guéguen, L. 1993. Bien nourrir les animaux en minéraux. II Pour préserver la santé de l'Homme et son environnement. *Vitolmin*, Angers.
- House, W.A., Bell, A.W. 1993. *J. Dairy Sci.* 76, 2999-3010
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique 1978. *Alimentation des ruminants* R. Jarrige (ed.). INRA Publications, Paris.
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique 1988. *Alimentation des bovins, ovins et Caprins* R. Jarrige (ed.). INRA Publications, Paris.
- Komisarczuk-Bony, S., Durand, M. 1991. *Rec. Adv. Nutr. Herb.* 133-141.
- Konishi, C. Matsui, T. Park, X., Yano, H., Yano, F. 1999. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80, 115-122.
- Meschy, F. 1998. *Renc. Rech. Ruminants*, 5, 250.
- Meschy, F. 2000. *Livest. Product. Sci.* 64, 9-14.
- Meschy, F., Beguin, J.M., Dagorne, R.P. 2000. *Renc. Rech. Ruminants*, 7, 209.
- Meschy, F., Guéguen, L. 1996. *Proceeding of 47th meeting EAAP.* Lillehammer
- Meschy F., Guéguen, L. 1998. *Renc. Rech. Ruminants*, 5, 235-240.
- NCMN, Netherlands Committee on Mineral Nutrition. 1973. *Cent. Agric. Pub.* Wageningen.
- NRC, National Research Council. 1989. *Nutrient requirement of dairy cattle.* National Academy Press, Washington, D.C.
- Park, W.Y., Matsui, T., Konoshi, C., Kim, S.W., Yano, F., Yano, H. 1999. *Br. J. Nutr.* 81, 467-471.
- Pfeffer, E., Rodehutsord, M. 1998. *J. Agric. Sci. (Cambridge).* 131, 487-495.
- Scott, D., McLean A.F. 1981. *Proc. Nut.Soc.*, 40, 257-266.
- Sehested, J., Weisjberd, 2002. *J. Dairy Sci.* 85 Supp. 1. 354.
- Valk, H., Beynen, A.C. 2002. *Livest. Prod. Sci* (in press).
- Wu, Z., Satter, L.D., Blohowiak, A.J., Stauffacher, R.H., Wilson, J.H. 2001. *J. Dairy Sci.* 84, 1738-1748.