

L'UTILISATION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DE LA RATION PAR LE VEAU

II. — INFLUENCE DU NIVEAU DE L'APPORT PHOSPHO-CALCIQUE

L. GUÉGUEN et C.-M. MATHIEU

avec la collaboration technique de Michelle FRASNIER,
Pierrette CAMUS et C. MARPILLAT

Laboratoire des Métabolismes

et

Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants

Centre national de Recherches zootechniques, Jouy-en-Josas (Seine-et-Oise)

SOMMAIRE

Des bilans minéraux ont été effectués à partir du sevrage (6^e semaine) jusqu'à l'âge de 15 semaines sur trois lots de quatre veaux recevant un même régime de sevrage précoce comprenant de l'aliment concentré sec et du foin mais contenant trois taux différents de calcium et de phosphore. Les rations totales contenaient en moyenne, par kg de matière sèche, 16, 11 et 8 g de Ca et 11,5, 7,0 et 5,5 g de P respectivement pour les lots HN (haut niveau), MN (moyen niveau) et BN (bas niveau).

Lorsque les quantités de calcium ingérées augmentent, le coefficient d'utilisation digestive du calcium diminue (en moyenne de 60 à 35 p. 100), la régulation de l'utilisation s'effectuant donc au niveau de l'absorption intestinale. Dans le cas du phosphore, la régulation s'effectue surtout par l'excrétion urinaire et le coefficient d'utilisation digestive varie beaucoup moins.

Le sevrage des veaux est accompagné d'une diminution très marquée de l'excrétion urinaire de P. Cependant, l'excrétion urinaire de P demeure importante chez les veaux sevrés recevant de fortes quantités de P, ce qui semble traduire l'existence d'un seuil pour l'excrétion rénale de cet élément.

Les coefficients de rétention de Ca et de P varient relativement peu (40 à 60 p. 100 en moyenne) ; en conséquence, les quantités retenues sur l'ensemble des 9 semaines étudiées augmentent avec les quantités ingérées : ainsi les veaux du lot HN ont retenu, par kg de gain net, environ 45 p. 100 plus de Ca et 60 p. 100 plus de P que les veaux du lot BN, lesquels avaient ingéré la moitié moins de Ca et de P.

Les quantités d'éléments minéraux ingérées n'ont pas influé sur la croissance corporelle totale des animaux ni sur la composition minérale des cendres de l'os ; seul le degré de minéralisation du squelette a considérablement varié.

Le choix de la minéralisation optimale du squelette semble constituer le principal facteur limitant et la cause essentielle des divergences d'opinion dans la fixation des besoins alimentaires en Ca et P des veaux sevrés. Toutefois, en admettant que l'obtention précoce d'une bonne minéralisation du squelette soit souhaitable chez le Veau d'élevage, des apports de 8 g de Ca et de 5 g de P par kg de matière sèche ont été recommandés pour le Veau sevré de 70-100 kg.

Dans une première expérience (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962), nous avons étudié l'influence de la nature du régime alimentaire sur l'utilisation des principaux éléments minéraux par le Veau, en comparant deux lots de veaux recevant soit du lait entier seul, soit un régime de sevrage précoce comprenant un aliment concentré sec et du foin. Cette première étude nous avait conduits à formuler des recommandations provisoires pour l'alimentation minérale, et en particulier phospho-calcique, des veaux sevrés précocement. Toutefois, afin de mieux préciser les limites de variation des coefficients d'utilisation du calcium et du phosphore de la ration d'une part, et du degré de minéralisation du squelette d'autre part, il était nécessaire de comparer plusieurs régimes alimentaires fournissant des quantités variables de calcium et de phosphore.

Il est en effet surprenant de constater la grande variabilité des recommandations proposées pour l'apport de calcium et de phosphore au Veau. Cependant, cette variabilité est probablement liée à la variété des régimes alimentaires étudiés et des critères retenus pour définir les besoins optimaux des animaux. Dans le cas particulier des veaux sevrés à 6 semaines, il n'existe pas de données antérieures résultant d'expériences effectuées avec des apports variables de calcium et de phosphore, qui permettent d'estimer les besoins alimentaires en ces éléments.

Nous avons donc effectué des expériences de bilans, de l'âge de 6 semaines à l'âge de 15 semaines, sur trois lots de veaux recevant des régimes de sevrage précoce identiques mais avec trois taux différents de calcium et de phosphore, le rapport entre les deux éléments demeurant constant. Afin de pouvoir estimer le degré de minéralisation du squelette, les animaux ont été abattus à la fin de l'expérience.

MÉTHODES EXPÉRIMENTALES ET MATÉRIEL UTILISÉ

Animaux

L'expérience a porté sur 12 veaux mâles de race *Normande* de même âge, maintenus en cages à métabolismes de leur 2^e à leur 15^e semaine. A l'âge de 4 semaines, trois lots de 4 veaux ont été constitués. Le choix des animaux pour la formation de lots aussi comparables que possible a été fait suivant les critères suivants : poids, gain de poids antérieur, état sanitaire et quantités journalières de foin et d'aliment concentré consommées. Tous les animaux ont été pesés chaque semaine, pesés et mesurés le jour de l'abattage, à la fin de l'expérience, à l'âge de 15 semaines.

Alimentation

Les veaux ont reçu du lait entier durant les deux premières semaines, puis de l'aliment concentré sec, du foin, de l'eau et du lait en quantité limitée à partir de la 3^e semaine. Le sevrage a eu lieu au début de la 6^e semaine, les animaux ne recevant ensuite que l'aliment concentré, le foin et l'eau à volonté (MATHIEU et WEGAT-LITRE, 1962). La quantité d'aliment concentré offerte a été limitée de façon à assurer les deux tiers environ de la matière sèche de la ration totale en aliment concentré et le tiers en foin.

Les tableaux 1 et 2 rassemblent les compositions des aliments concentrés distribués et des composés minéraux incorporés pour constituer trois niveaux d'apport de Ca et de P : un haut niveau (HN), un moyen niveau (MN) et un bas niveau (BN). Ces niveaux ont été choisis en fonction des résultats obtenus dans l'expérience précédente, le régime MN devant assurer le même apport de P et le régime HN le même apport de Ca. En effet, la présence de foin de luzerne dans cette première expérience avait assuré un apport très élevé de calcium et il nous a paru inutile d'expérimenter un régime calcique plus élevé.

Le foin offert était un foin de graminées contenant en moyenne 2,2 g de P et 4,0 g de Ca par kg de matière sèche. Ce foin était distribué à volonté, la proportion des refus étant limitée à 10 p. 100. Les rations totales contenaient donc en moyenne respectivement 16,2-11,2 et 8,2 g de Ca et 11,7-7,1 et 5,6 g de P par kg de matière sèche.

TABLEAU I

Composition des aliments concentrés distribués

	HN	MN	BN
Blé	30	30	30
Orge	22	25	28
Tourteau de lin	30	30	30
Poudre de lait	10	10	10
Composé minéral I	8		
Composé minéral II		5	
Composé minéral III			2
<i>Vitamines (U I pour 100 kg)</i>			
A	1 200 000	1 200 000	1 200 000
D ₂	400 000	400 000	400 000

TABLEAU 2

Composition des composés minéraux incorporés dans les aliments concentrés

	I	II	III
Phosphate bicalcique	65	46	0
Carbonate de calcium	22	31	66
Chlorure de sodium	10	18	27
Oxyde de magnésium	3	5	7
Sulfate de fer	0,2	0,3	0,4
Sulfate de cuivre	0,02	0,03	0,04

Prélèvements des échantillons

Les mesures de bilans complets ont été effectuées de la 6^e à la 15^e semaine, les fèces et l'urine étant recueillies séparément et pesées chaque jour. La teneur en matière sèche des fèces a été déterminée après séjour dans un four à circulation d'air à 70°C. Pour les aliments, les fèces et l'urine, des échantillons moyens hebdomadaires ont été préparés à partir de tous les prélèvements quotidiens. Les aliments et les fèces ont été broyés après séchage.

Après l'abattage des animaux, les contenus des diverses parties du tube digestif ont été prélevés et analysés. Quelques os caractéristiques (fémur, humérus, 2^e vertèbre cervicale, 2^e vertèbre lombaire, demi-maxillaire inférieur) ont été prélevés, placés dans de l'eau bouillante durant 10 mn pour enlever les tissus adhérents, puis séchés à l'air durant plusieurs semaines. Les os longs ont été sciés longitudinalement afin d'en retirer la moelle, puis sciés en petits fragments. Les tronçons d'os longs et les vertèbres entières ont été placés pendant plusieurs jours dans de l'acide nitrique à 20 p. 100. Les os ainsi ramollis, mais non dégraissés, ont ensuite été broyés dans un mixer, ce qui a permis de prélever des échantillons représentatifs des os entiers.

Méthodes d'analyse

Les méthodes utilisées sont celles précédemment décrites (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962). Dans le cas des os, une prise d'essai d'environ 10 ml de la « solution » nitrique de l'os total a été évaporée sur bain de sable puis incinérée au four à 530-550°C. Pour le dosage de Mg par photométrie de flamme, une séparation préalable de Ca sous forme de l'oxalate a été effectuée.

RÉSULTATS

Dans la présentation des résultats, seules figurent les moyennes obtenues pour chaque lot de 4 veaux. Les variations individuelles au sein de chaque lot n'ont pas été indiquées pour chaque résultat hebdomadaire mais seulement pour les valeurs obtenues sur l'ensemble de l'expérience (tabl. 6).

I. Quantités ingérées et croissance des veaux

Les quantités totales moyennes de matière sèche consommées par les animaux (tabl. 3) sont comparables dans les trois lots durant toute l'expérience, mises à part les deux dernières semaines, où les veaux du lot à moyen niveau (MN) consomment plus de matière sèche.

TABLEAU 3

Quantités moyennes de matière sèche consommées par les veaux des trois lots
(en g par jour)

Age, en semaines	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Lot HN	555	725	1 047	1 359	1 846	1 929	1 971	2 109	2 357
Lot MN	565	866	1 171	1 482	1 615	1 884	2 082	2 385	2 384
Lot BN	546	812	1 174	1 657	1 618	1 909	1 964	2 117	2 184

TABLEAU 4

Quantités moyennes de Ca et de P ingérées par les veaux
(en g par jour)

Age, en semaines		6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ca	HN	6,62	11,76	17,54	22,87	29,05	33,28	35,73	34,95	38,80
	MN	6,07	10,72	14,90	19,54	18,32	21,18	22,14	24,40	25,80
	BN	5,14	7,23	9,85	12,91	12,25	14,80	16,00	17,73	16,42
P	HN	3,66	7,47	12,48	17,10	23,37	26,38	26,83	24,28	28,92
	MN	3,15	6,37	8,70	13,35	12,88	14,51	14,87	14,26	17,98
	BN	2,72	4,38	7,79	9,23	9,27	11,40	10,66	11,79	12,12

Dans le tableau 4 figurent les quantités moyennes de Ca et de P ingérées par les veaux des trois lots pendant l'expérience. Les quantités moyennes, pondérées sur toute la période de 9 semaines, de Ca et de P ingérées par jour sont respectivement de 25,6 et 18,9 g pour le lot à haut niveau (HN), de 18,1 et 11,8 g pour le lot à moyen niveau (MN) et de 12,5 et 8,8 g pour le lot à bas niveau (BN). Ainsi les rapports moyens des quantités de Ca et de P ingérées sont respectivement pour les 3 lots de 1,36; 1,53 et 1,42.

Dans l'étude précédente (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962), les ingestions moyennes correspondaient à celles du lot HN pour le calcium et étaient légèrement supérieures à celles du lot MN pour le phosphore.

De la 6^e à la 15^e semaine, soit en 9 semaines, les gains de poids brut moyens par veau sont de 40,9 kg pour le lot HN, 40,5 kg pour le lot MN et de 38,6 kg pour le lot BN. Les gains nets correspondants (contenus digestifs exclus) sont respectivement de 30,7 ; 28,5 et 29,6 kg. Les vitesses de croissance sont donc voisines dans les trois lots et comparables à celles obtenues dans la première expérience.

En outre, les mensurations effectuées avant l'abattage (hauteur au garrot, hauteur au sacrum, longueur du corps, largeur aux épaules, largeur aux pointes des fesses, tour de poitrine, etc.) n'ont révélé aucune différence significative entre les lots.

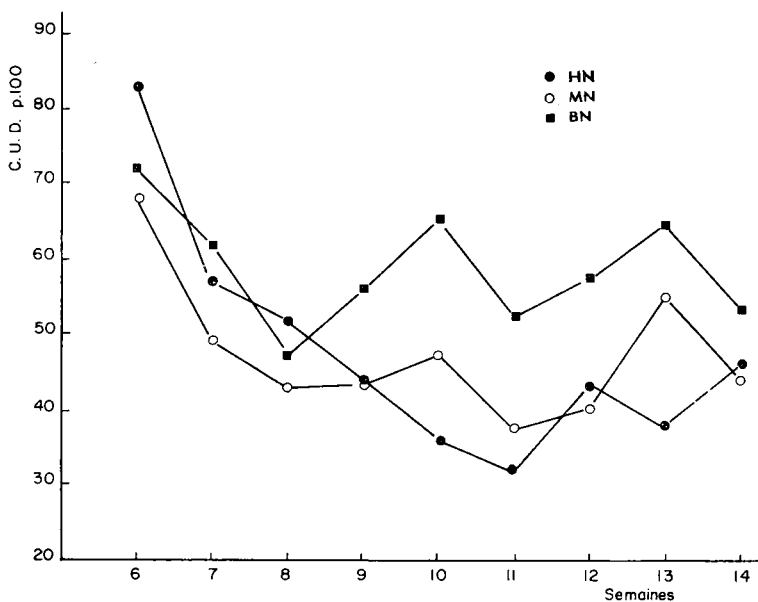


FIG. 1. — Évolution du coefficient d'utilisation digestive (et de rétention) du calcium

2. Utilisation digestive apparente et rétention du calcium et du phosphore

Les coefficients d'utilisation digestive apparente (C.U.D. apparent = $\frac{\text{Ingéré-Fécal}}{\text{Ingéré}} \times 100$) de Ca et de P diminuent au cours des deux premières semaines suivant le sevrage et cette diminution est particulièrement marquée dans le cas du calcium (fig. 1). Après la 8^e semaine les C.U.D. varient relativement peu dans chaque lot, en particulier pour le phosphore (fig. 2).

Le coefficient de rétention (C.R. = $\frac{\text{Ingéré-Fécal-Urinaire}}{\text{Ingéré}} \times 100$) de Ca est pratiquement égal à son C.U.D. apparent puisque l'excrétion urinaire est négligeable. Les variations du C. R. de P sont indiquées sur la figure 3.

Les quantités ingérées influent peu sur l'utilisation digestive de P et, quel que soit l'apport, le C.U.D. demeure compris entre 50 et 70 p. 100. En revanche, une certaine régulation se fait au niveau de la rétention, le C.R. le plus élevé correspon-

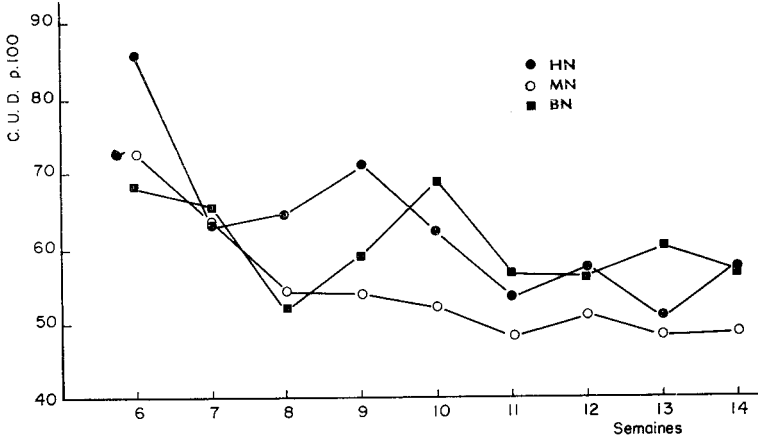


FIG. 2. — Évolution du coefficient d'utilisation digestive du phosphore

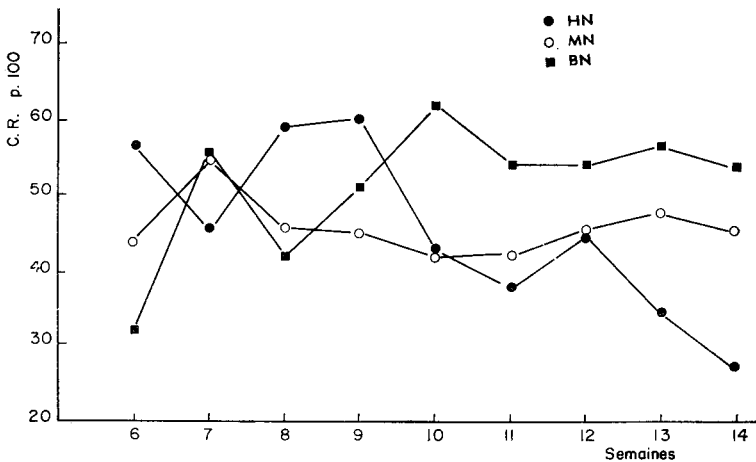


FIG. 3. — Évolution du coefficient de rétention du phosphore

nant au régime le plus pauvre en P. Pour le calcium, au contraire, les quantités ingérées influent sur l'utilisation digestive, le C.U.D. étant compris entre 50 et 65 p. 100 pour le lot BN et entre 30 et 45 p. 100 pour le lot HN après la 8^e semaine (fig. 1).

Toutefois, par rapport aux différences importantes entre les quantités ingérées par les veaux des trois lots, les coefficients de rétention de Ca et de P varient relativement peu (40 à 60 p. 100 en moyenne).

3. Modalités de l'excrétion du calcium et du phosphore

Le calcium urinaire demeure négligeable, quel que soit l'apport dans la ration et quel que soit l'âge du Veau. Au contraire, les variations de la proportion urinaire de P total excrété (fig. 4) sont très significatives. Comme nous l'avions déjà souligné (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962), l'excrétion urinaire de P est très importante chez le Veau monogastrique, et le sevrage entraîne une diminution très marquée du pourcentage urinaire de l'excrétion totale de P (de 60 à 15 p. 100 en moyenne en deux semaines).

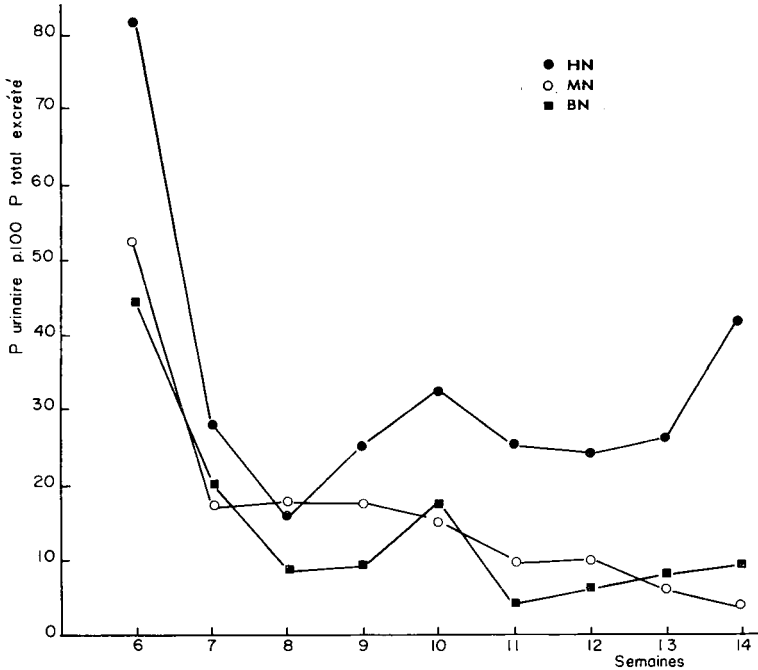


FIG. 4. — Évolution de l'excrétion urinaire du phosphore (p. 100 de l'excrétion totale de P)

D'autre part, l'apport de P influencerait également sur son excrétion urinaire, celle-ci demeurant beaucoup plus importante chez les veaux du lot HN (30 p. 100 environ) que chez les autres veaux (7 p. 100).

4. Quantités de calcium et de phosphore retenues

Les quantités moyennes retenues par lot sont indiquées dans le tableau 5 et leurs variations sont illustrées sur la figure 5.

L'évolution des quantités de Ca et de P retenues est en général parallèle à l'évolution des quantités ingérées : les quantités retenues augmentent régulièrement, mis à part pour P pendant les deux dernières semaines dans le lot HN.

Les quantités totales de Ca et de P retenues durant la période de 9 semaines

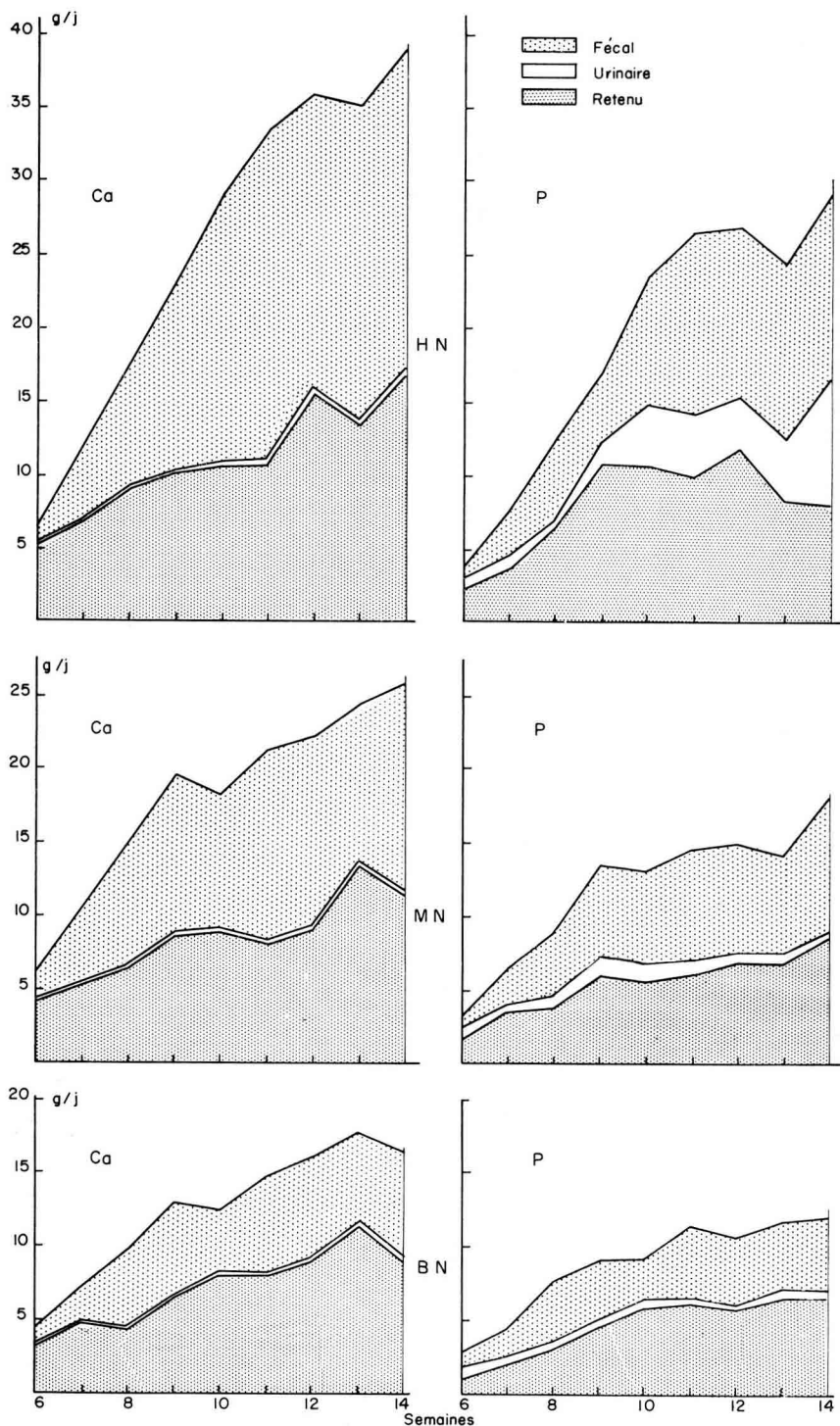


FIG. 5. — Variations de la répartition du calcium et du phosphore ingérés par les veaux des trois régimes (Ingéré = Retenu + Fécral + Urinaire).

TABLEAU 5
Quantités moyennes de Ca et de P retenues
(en g par jour)

Age, en semaines		6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ca	HN	5,34	6,77	9,05	10,05	10,45	10,74	15,52	13,20	16,69
	MN	4,41	5,18	6,39	8,47	8,78	7,95	8,99	13,33	11,35
	BN	3,54	4,80	4,33	6,39	8,10	7,89	9,24	11,48	8,91
P	HN	2,19	3,54	7,29	10,66	10,47	9,87	11,84	8,19	7,66
	MN	1,45	3,42	3,76	5,95	5,54	6,09	6,75	6,73	8,33
	BN	0,95	2,40	3,07	4,66	5,87	6,19	5,77	6,67	6,72

TABLEAU 6
Quantités totales retenues de la 6^e à la 15^e semaine
(9 semaines)

Quantités retenues en grammes	Ca			P		
	HN	MN	BN	HN	MN	BN
Totales (9 semaines)...	685 ± 31*	522 ± 38	452 ± 27	502 ± 26	336 ± 16	296 ± 26
Par jour.....	10,9 ± 0,5	8,3 ± 0,6	7,2 ± 0,4	8,0 ± 0,4	5,3 ± 0,2	4,7 ± 0,4
Par kg de gain brut...	16,7 ± 0,8	12,9 ± 0,8	11,7 ± 0,3	12,3 ± 1,0	8,3 ± 0,4	7,7 ± 0,4
Par kg de gain net...	21,4 ± 1,0	17,0 ± 1,0	14,7 ± 0,5	15,5 ± 1,1	10,7 ± 0,5	9,6 ± 0,6

* écart-type de la moyenne (σ_m)

TABLEAU 7
Composition minérale moyenne des cendres d'os (non dégraissés)
(en mg par g)

	Ca			P			K			Na			Mg		
	HN	MN	BN	HN	MN	BN	HN	MN	BN	HN	MN	BN	HN	MN	BN
Humérus Épiphyse ...	341	349	328	170	167	171	1,78	3,04	2,46	12,2	12,3	13,2	5,8	4,4	5,6
Humérus Diaphyse ...	338	347	349	168	169	172	0,41	0,90	0,65	7,8	7,6	8,1	5,9	4,4	5,8
Fémur Épiphyse.....	332	342	335	166	165	167	1,65	2,93	2,70	11,0	11,6	12,8	6,2	4,8	4,6
Fémur Diaphyse.....	337	343	343	172	166	171	0,43	1,02	0,73	7,0	7,4	8,5	6,4	4,7	5,2
Vertèbres (2 ^e cervicale + 2 ^e lombaire)	359	350	346	173	169	172	2,33	3,38	3,12	10,0	10,8	11,5	6,4	4,3	6,1

(tabl. 6) augmentent avec les quantités ingérées. Ainsi les veaux du régime HN ont retenu beaucoup plus de Ca et de P que les veaux du régime BN (respectivement 45 et 60 p. 100 de plus). Les différences enregistrées entre les régimes MN et BN ne sont pas significatives (à $P < 0,05$), ce qui est probablement dû au faible nombre d'animaux dans chaque lot.

5. Composition minérale des os

La composition minérale des cendres d'os n'est pas influencée par le régime alimentaire et les teneurs en Ca et P en particulier demeurent très constantes. Cependant les cendres d'os des veaux du lot HN sont les plus pauvres en K (tabl. 7).

Les quantités totales absolues d'éléments minéraux contenues dans les os étudiés (tabl. 8) confirment les différences obtenues entre lots pour les rétentions totales. Ainsi les os des veaux du lot HN contiennent beaucoup plus de Ca et de P que les os des deux autres lots, la différence entre ces deux derniers n'étant pas significative

TABLEAU 8

Quantités totales moyennes d'éléments minéraux dans quelques os (non dégraissés)
(en grammes)

	Ca			P			K			Na			Mg		
	HN	MN	BN	HN	MN	BN	HN	MN	BN	HN	MN	BN	HN	MN	BN
Humérus	40,3	33,9	30,5	19,9	16,8	15,7	0,17	0,25	0,16	1,33	1,13	1,06	0,65	0,45	0,53
Fémur	63,2	50,9	46,8	31,8	24,6	23,4	0,27	0,37	0,33	2,00	1,59	1,68	1,19	0,71	0,65
Vertèbres (2 ^e cervicale + 2 ^e lombaire)	18,7	16,3	15,4	9,0	7,9	7,8	0,12	0,16	0,13	0,52	0,50	0,52	0,33	0,20	0,28

DISCUSSION

I. Utilisation et mode d'excrétion du calcium et du phosphore

L'influence de l'accroissement des quantités ingérées se traduit par une diminution très marquée du C.U.D. apparent du calcium. L'excrétion urinaire de Ca demeurant négligeable, la régulation de l'utilisation se fait donc uniquement par l'intestin, au niveau de l'absorption et de l'excrétion fécale endogène (HARRISON, 1959). Au contraire, dans le cas du phosphore, le C.U.D. varie peu et la régulation de l'utilisation en fonction des apports s'effectue principalement au niveau de l'excrétion urinaire. Des expériences de bilans avec dilution isotopique effectuées sur d'autres espèces, en particulier sur le Rat (APFELBAUM et BRIGANT, 1963) et sur le Mouton

(PRESTON et PFANDER, 1964 ; GUÉGUEN, 1964 *b*) montrent bien que le C.U.D. réel de P est peu influencé par des variations importantes des quantités ingérées.

Les coefficients de rétention de Ca et de P varient relativement peu en fonction des quantités ingérées. A niveau d'ingestion comparable (lot HN pour Ca et lot MN pour P) ces résultats sont en accord avec les données fournies par l'expérience antérieure portant sur 5 veaux sevrés à 8 semaines.

En dehors de la diminution déjà constatée (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962) de la proportion de phosphore urinaire, liée au passage du stade monogastrique au stade ruminant, il apparaît une influence très marquée de la quantité de P ingérée qui, au-delà d'un certain seuil (entre HN et MN), accroît considérablement l'excrétion urinaire de P (fig. 5). D'autres travaux ont permis de constater l'existence de ce seuil rénal, en particulier chez le Porc (MILLER et *al.*, 1964) et chez le Mouton adulte (GUÉGUEN, 1964 *b*) où l'excrétion urinaire de P, en général très faible, devient importante lorsque l'apport est très élevé. Selon STANBURY (1963) et LAMBERT et CORVILAIN (1963) l'existence de ce seuil s'expliquerait par une capacité limitée du rein pour la réabsorption tubulaire de P, la réabsorption tubulaire de Ca étant au contraire pratiquement complète. En fait, il semble également que l'on puisse provoquer une excrétion urinaire non négligeable de Ca en apportant au Veau des quantités importantes de Ca très utilisable (GUÉGUEN, 1964 *a*).

Par rapport aux veaux de l'expérience précédente (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962) la diminution de l'excrétion urinaire de P est ici beaucoup plus rapide et plus accentuée ; ceci résulterait du fait que, dans la première expérience, le sevrage avait lieu à 8 semaines et non à 6 semaines.

2. Quantités totales de calcium et de phosphore retenues

a) Relation entre la rétention du calcium et la rétention du phosphore.

Les quantités journalières de Ca et de P retenues évoluent parallèlement dans les lots MN et BN. En revanche, les veaux du lot HN retiennent relativement plus de P au milieu de la période expérimentale et plus de Ca à la fin. La diminution de la rétention de P à la fin de l'expérience résulterait donc de la nécessité d'une compensation pour rétablir l'équilibre entre les deux éléments.

Sur l'ensemble de la période de 9 semaines, Ca et P ont été retenus dans des rapports voisins de ceux des quantités ingérées, soit 1,36 pour le lot HN, 1,55 pour le lot MN et 1,53 pour le lot BN. Ce qui pourrait n'être ici qu'une simple coïncidence est corroboré par les résultats de l'expérience précédente où Ca et P étaient retenus dans un rapport de 1,80, égal au rapport des quantités ingérées.

Cette similitude des rapports entre Ca et P dans les quantités ingérées et dans les quantités retenues est simplement due au fait que les coefficients de rétention des deux éléments sont en général très voisins : les C.R. moyens de Ca et de P pendant toute l'expérience sont respectivement de 42,6 et 42,3 dans le lot HN, 45,8 et 44,9 dans le lot MN, 57,6 et 53,4 dans le lot BN et enfin 47,4 et 47,0 dans le lot étudié dans l'expérience précédente. Bien entendu, cette constatation n'est valable que dans les limites des rapports Ca/P étudiés (1,3 à 1,8). Dans le cas d'un apport excessif de Ca (rapport phospho-calcique élevé) les C.R. de Ca et de P ne seraient sans doute plus identiques.

Il semble que dans les trois régimes étudiés, l'apport de Ca ait été relativement insuffisant par rapport à l'apport de P, et qu'il soit nécessaire, pour obtenir une rétention suffisante de Ca, de fournir ces deux éléments dans un rapport supérieur à 1,6. En effet, dans la limite des apports étudiés dans les deux expériences, à niveau égal d'apport de P, le C.R. de P semble indépendant de l'apport de Ca et, à niveau égal d'apport de Ca, le C.R. de Ca semble indépendant de l'apport de P.

Ainsi, les apports absolus de Ca et de P semblent influencer beaucoup plus que le rapport entre ces deux éléments sur les coefficients de rétention de Ca et de P. Toutefois, ces coefficients de rétention varient relativement peu (C.R. compris entre 40 et 60 p. 100 en moyenne) en fonction des apports de Ca et de P et les rétentions totales sont donc accrues lorsque les quantités ingérées augmentent.

b) Quantités de calcium et de phosphore retenues et minéralisation du squelette.

Les quantités totales de Ca et de P retenues durant les 9 semaines de l'expérience augmentent avec les quantités ingérées et les différences obtenues dans la composition minérale du croît sont considérables (tabl. 6). Comme les animaux des trois lots ont eu des croissances comparables, en poids et en format, il en résulte que les veaux ayant reçu le plus de Ca et de P ont un squelette plus minéralisé que les autres.

Cette meilleure minéralisation des os chez les veaux du lot HN est bien confirmée par l'examen des quantités totales de Ca et de P trouvées dans les différents os entiers (moelle exclue pour les os longs) (tabl. 8). Nous avons adopté ce mode d'expression qui traduit les différences de minéralisation beaucoup mieux que le ferait l'expression des résultats en teneurs en Ca et P de la matière sèche de l'os. En effet, les différences de proportions de cendres rapportées au poids de l'os sont très amorties par rapport aux différences de proportions rapportées au volume de l'os. Ainsi, ayant deux os secs de même volume dont l'un contiendrait 40 p. 100 de cendres de moins que l'autre, les proportions « volumiques » seraient par exemple respectivement de 60 et 60 p. 100 de matière organique, 15 et 25 p. 100 de cendres, 25 et 15 p. 100 de vide. Le poids spécifique des cendres étant trois fois plus élevé que le poids spécifique des autres constituants de l'os, la différence entre les proportions pondérales de cendres ne serait que de 22 p. 100. En fait, les os des veaux du lot HN sont un peu plus lourds que les os des veaux des autres lots, et les différences de poids (30 à 40 g pour un os long) correspondent approximativement aux gains de substance minérale, la quantité de matière organique étant supposée constante.

L'analyse minérale des cendres (tabl. 7) montre que l'accroissement des quantités de Ca et de P retenues ne se traduit pas par une modification de la composition minérale des cendres de l'os. Ces résultats sont en accord avec les données obtenues par BLAIR et *al.* (1963) puis par BLAIR et BENZIE (1964) sur des porcelets ayant reçu des apports variables de Ca et de P.

Les valeurs obtenues pour les teneurs en Ca et P des cendres d'os sont en moyenne inférieures aux valeurs citées pour d'autres espèces (BLAIR et *al.*, 1963 ; TAYLOR et *al.*, 1960). De même, le rapport Ca/P est plus faible dans notre cas (2,0 à 2,1 au lieu de 2,2 à 2,3). Ces divergences semblent dues au fait que nos résultats se rapportent à des cendres d'os non dégraissés, les matières grasses de l'os contenant du phosphore et pas de calcium.

Les teneurs en K sont plus faibles dans le cas du lot HN, ce qui traduit une

moindre proportion de matières minérales liées aux constituants organiques dans les cendres totales de l'os.

Les quantités de Ca et de P ingérées influent donc directement sur la minéralisation de l'os, mais n'agissent pas sur la croissance corporelle totale appréciée par le gain de poids et par les mensurations. Les résultats de RUTLEDGE et *al.* (1961) et de BLAIR et *al.* (1963, 1964) sur le Porc montrent également qu'il est possible d'accroître considérablement le degré de minéralisation du squelette sans que la vitesse de croissance soit affectée.

4. *Conclusions sur les besoins alimentaires du Veau en calcium et en phosphore*

Un profond désaccord existe entre auteurs pour la fixation de recommandations pour l'apport de Ca et de P à des veaux sevrés de 100 kg. Ainsi, les besoins alimentaires en P, exprimés en g de P par kg de matière sèche ingérée, seraient de 2,5 selon YANG et THOMAS (1964), 3,0 selon WISE et *al.* (1958), 4,0 selon le *National Research Council* (1958) et ROY (1958), 4,5 selon MORRISON (1950) et enfin 5,0 selon nos recommandations provisoires (GUÉGUEN et MATHIEU, 1962).

En fait, ces divergences résultent principalement de la variabilité des régimes alimentaires étudiés, des vitesses de croissance obtenues et des critères choisis pour définir les besoins optimaux. Ainsi, les chiffres très faibles adoptés par certains auteurs sont partiellement justifiés, soit par l'emploi d'aliments solides contenant de la poudre de lait écrémé fournissant Ca et P sous une forme très utilisable, soit par les faibles vitesses de croissance permises par les apports énergétiques et azotés. Enfin, il existe un besoin d'entretien important chez les veaux consommant des fourrages grossiers (GUÉGUEN, 1963) et ceci contribue également à créer des différences dues à la nature du régime alimentaire dans les besoins totaux des animaux.

Toutefois, la plus grande part du désaccord réside dans la définition même du besoin minéral de croissance, et la plupart des auteurs n'ont pas tenu compte du degré de minéralisation du squelette pour chiffrer ce besoin. Il est pourtant manifeste que le niveau d'apport de Ca et de P constitue le principal facteur déterminant le degré de minéralisation de l'os et que ce degré de minéralisation, qui peut être considérablement accru, conditionne la densité de l'os et sa résistance à la rupture (RUTLEDGE et *al.*, 1961 ; WHEDON, 1959 ; BLAIR et BENZIE, 1964).

Les apports de Ca et de P nécessaires pour assurer une croissance normale de l'animal et prévenir une carence visible ne sont pas suffisants pour assurer une minéralisation satisfaisante de son squelette. Ainsi, WENTWORTH et SMITH (1961) font bien la différence entre ces deux échelles de besoins pour le Veau, et BLAIR et BENZIE (1964), se basant également sur une minéralisation optimale du squelette, recommandent pour le porcelet des taux de Ca et de P très supérieurs aux recommandations habituellement admises. Bien entendu, le principal obstacle réside dans le choix du degré idéal de minéralisation du squelette. Il n'est sans doute pas souhaitable d'atteindre la minéralisation maximum qui risque de conduire à un rétrécissement des cavités médullaires de l'os (FOURNIER et DUPUIS, 1964) et peut-être de nuire ainsi à ses fonctions érythropoïétiques.

Étant ainsi limités par cette définition même du besoin net de croissance, il ne nous est pas possible, même pour un régime alimentaire et une vitesse de croissance

bien déterminés, de fournir des recommandations pratiques rigoureuses. Nous pouvons seulement affirmer que, dans nos conditions expérimentales, des veaux de 100 kg, consommant 24 g de Ca et 15 g de P par jour, n'assurent pas la minéralisation maximum de leur squelette. Dans des conditions pratiques d'élevage, des veaux de 100 kg sevrés précocement, recevant deux tiers de leur ration sous forme d'aliment concentré et un tiers sous forme de foin de bonne qualité, peuvent consommer environ 3 kg de matière sèche par jour. Les apports journaliers précédents correspondent, dans ces conditions, à des taux de 8 g de Ca et 5 g de P par kg de matière sèche de la ration totale. En admettant que l'obtention rapide d'une bonne minéralisation du squelette soit souhaitable chez le Veau d'élevage, nous considérons provisoirement les valeurs précédentes comme étant des taux optimaux pour des veaux de 70-100 kg sevrés précocement.

Reçu pour publication en mars 1965.

SUMMARY

UTILIZATION BY THE CALF OF MINERALS IN THE FEED

2. INFLUENCE OF PHOSPHORUS AND CALCIUM INTAKES

1. Mineral balances were carried out from weaning (at 6 weeks) until 15 weeks of age in 12 calves given an early-weaning diet of dry concentrate and grass hay.

2. The calves were kept in metabolism crates from 2 weeks of age. At 4 weeks they were divided into 3 groups of 4, given the same diets, except for their contents of Ca and P (tables 1 and 2). In average, the total rations contained, per kg of dry matter, 16, 11 and 8 g Ca and 11.5, 7.0 and 5.5 g P for groups HN (high level) MN (medium level) and BN (low level).

3. Average weekly samples of feeds, faeces and urine were prepared from all the daily collections. P was estimated colorimetrically with vanadate, and Ca, Na, K and Mg were estimated by flame photometry.

4. When intake of Ca increased, apparent availability decreased from an average of 60 down to 35 p. 100, and it seemed that the utilization was regulated mainly in the intestine (fig. 1). For P (fig. 2 and 3) regulation was realized mainly by excretion in urine, and availability was much less affected.

5. When the calves were weaned, excretion of P in urine was greatly reduced (fig. 4). Nevertheless, in calves on HN there was still a considerable amount of P excreted in urine, which suggests that there is a renal threshold for the excretion of P.

6. On each diet, percentage retentions of Ca and P were in general very close, so that, within the limits of the amounts studied, the quantities of Ca and P retained were in the same proportion as were intakes. On the other hand, the retention did not vary greatly, on average from 40 to 60 p. 100 and consequently the total amounts of Ca and P retained during the 9 weeks of the study increased with intake (tables 4 and 5; fig. 5). The calves on HN retained, per kg net gain in body weight (table 6), about 45 p. 100 more Ca and 60 p. 100 more P than those on BN, which had ingested only half as much Ca and P.

7. The amounts of minerals ingested did not affect overall growth of the calves or mineral composition of bone ash (table 8), but the degree of mineralization of the skeleton varied widely (table 7).

8. The principal reason for divergence in establishment of requirements of weaned calves for Ca and P would seem to be the choice of the optimum degree of mineralization of the skeleton. For calves for rearing, good mineralization of the skeleton at an early age seems to be desirable and for that reason it is recommended that for weaned calves of 70 to 100 kg the total ration should supply 8 g Ca and 5 g P per kg of dry matter.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- APFELBAUM M., BRIGANT L., 1963. Variation de l'assimilation et de l'excrétion du phosphore selon le taux du phosphore ingéré. *J. Physiol.*, **55**, 475-480.
- BLAIR R., BENZIE D., 1964. The effect of level of dietary calcium and phosphorus on skeletal development in the young pig to 25 lb live weight. *Brit. J. Nutr.*, **18**, 91-102.
- BLAIR R., DIACK J. R. B., MAC PHERSON R. M., 1963. Bone development in suckled pigs. *Brit. J. Nutr.*, **17**, 19-29.
- FOURNIER P. L., DUPUIS Y., 1964. Épaississement généralisé du squelette sous l'effet de l'administration continue de lactose. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **258**, 3089-3092.
- GUÉGUEN L., 1963. Influence de la nature du régime alimentaire sur l'excrétion fécale de phosphore endogène chez le Veau. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, 243-253.
- GUÉGUEN L., 1964 a. Le métabolisme du calcium et du phosphore chez le Veau recevant du lait entier enrichi en éléments minéraux. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **258**, 5985-5988.
- GUÉGUEN L., 1964 b. Données non publiées.
- GUÉGUEN L., MATHIEU C.-M., 1962. L'utilisation des éléments minéraux de la ration par le Veau. I. Influence du régime alimentaire. *Ann. Zootech.*, **11**, 115-134.
- HARRISON H. E., 1959. Factors influencing calcium absorption. *Feder. Proc.*, **18**, 1085-1092.
- LAMBERT P. P., CORVILAIN J., 1963. Site of action of parathyroid hormone and role of growth hormone in phosphate excretion. In *Hormones and the Kidney*. Academic Press New-York, London. *Mem. Soc. Endocr.*, **13**, 139-147.
- MATHIEU C.-M., WEGAT-LITRE E., 1962. Mise au point d'une méthode d'alimentation des veaux d'élevage. II. Modalités de la répartition du lait. *Ann. Zootech.*, **11**, 197-207.
- MILLER E. R., ULLREY D. E., ZUTAUT C. L., HOEFER J. A., LUECKE R. W., 1964. Mineral balance studies with the baby pig : effects of dietary phosphorus level upon calcium and phosphorus balance. *J. Nutr.*, **82**, 111-114.
- MORRISON F. B., 1950. *Feeds and feeding*, 25^e éd., 1148, The Morrison Publ. Comp., Ithaca, New York.
- National Research Council (U. S. A.), 1958. Committee on Animal Nutrition. III. Nutrient requirements of dairy cattle. 3.
- PRESTON R. L., PFANDER W. H., 1964. Phosphorus metabolism in lambs fed varying phosphorus intakes. *J. Nutr.*, **83**, 369-378.
- ROY J. H. B., 1958. Calves (dairy and beef), 48-75. In *Scientific Principles of Feeding Farm Live Stock*. Proc. of a Conference held at Brighton, nov. 1958. Farmer and Stock-Breeder Publ. Ltd., London, 1959.
- RUTLEDGE E. A., HENSON L. E., MEADE R. J., 1961. A study of the calcium requirements of pigs weaned at three weeks of age. *J. anim. Sci.*, **20**, 243-245.
- STANBURY S. W., 1963. The renal handling of phosphate and of calcium, and the interrelationships of the parathyroid glands and the kidneys. In *Hormones and the Kidney*, Academic Press, New York, London. *Mem. Soc. Endocr.*, **13**, 165-171.
- TAYLOR T. G., MOORE J. H., HERTELENDY F., 1960. Variations in the mineral composition of individual bones of the skeleton of the domestic fowl. *Brit. J. Nutr.*, **14**, 49-57.
- WENTWORTH R. A., SMITH S. E., 1961. The calcium requirement of dairy calves. *Proc. 1961 Cornell. Nutr. Conf. Mfrs.*, 53-55.
- WHEDON G. D., 1959. Effects of high calcium intakes on bones, blood and soft tissue : relationship of calcium intake to balance in osteoporosis. *Feder. Proc.*, **18**, 1112-1118.
- WISE M. B., SMITH S. E., BARNES L. L., 1958. The phosphorus requirement of calves. *J. anim. Sci.*, **17**, 89-99.
- YANG M. G., THOMAS J. W., 1964. Phosphorus requirements of calves from birth to 12 wk of age (Abstr.). *J. Dairy Sci.*, **47**, 702-703.