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

I. — INFLUENCE DU RÉGIME ALIMENTAIRE

L. GUEGUEN et C.-M. MATHIEU

avec la collaboration technique de Michelle FRASNIER-JANGLOIS
et de J. M. BOISSEAU

*Station de Biochimie et de Nutrition et Station de Recherches sur l'Élevage,
Centre national de Recherches zootechniques, Jouy-en-Josas (Seine-et-Oise).*

SOMMAIRE

Des expériences de bilans portant sur les principaux éléments minéraux (P, Ca, K, Na, Mg) ont été effectuées jusqu'à l'âge de 15 semaines sur des veaux soumis à deux régimes alimentaires différents : 8 veaux n'ont reçu que du lait entier (régime L), 5 veaux ont suivi un régime de sevrage précoce (régime LCF) comprenant une quantité limitée de lait, un aliment concentré et du foin de luzerne à volonté.

Les coefficients d'utilisation digestive apparents et les coefficients de rétention apparents des éléments minéraux évoluent au cours de l'expérience, particulièrement pour le phosphore, le calcium et le magnésium, dont l'utilisation diminue considérablement après le sevrage chez les veaux au régime LCF.

Les éléments minéraux du lait sont mieux utilisés que ceux de l'aliment concentré et du foin.

Les quantités journalières moyennes de calcium, de phosphore et de sodium retenues de la 4^e à la 15^e semaine sont voisines dans les deux régimes. En revanche, les veaux du régime L retiennent par jour beaucoup moins de magnésium et plus de potassium que les veaux du régime LCF.

Le gain de poids net (contenu digestif exclu) contient 1,6 fois plus de calcium, 1,5 fois plus de phosphore, 1,4 fois plus de sodium et surtout 3,6 fois plus de magnésium dans le cas des veaux du régime LCF. Les teneurs en potassium du gain de poids sont voisines pour les deux régimes.

Des recommandations ont été faites pour l'apport des éléments minéraux aux veaux de 100 kg sevrés précocement : 7 g de calcium, 5 g de phosphore, 3,5 g de potassium, 2 g de sodium et 2 g de magnésium par kilogramme de matière sèche de la ration.

Le métabolisme des éléments minéraux chez le veau est peu connu, et les travaux déjà effectués sur ce sujet concernent en général des animaux recevant exclusivement du lait entier, en quantité très limitée (RAVEN et ROBINSON, 1958 ; SMITH 1957). La mise au point des méthodes de sevrage précoce pour l'élevage des veaux, dans lesquelles on substitue au lait entier un aliment concentré sec, du foin et de l'eau,

nécessite une meilleure connaissance de l'utilisation des éléments minéraux de ces aliments de remplacement, notamment durant et après le sevrage.

Dans ce but, nous avons étudié comparativement l'utilisation digestive apparente et la rétention apparente des principaux éléments minéraux (P, Ca, K, Na, Mg) de la ration, d'une part chez des veaux ne recevant que du lait de la naissance à 15 semaines, et d'autre part chez des veaux recevant une quantité limitée de lait (200 litres durant 7 semaines), un aliment concentré sec (limité à 2 kg par jour), du foin et de l'eau à volonté. Le premier régime (régime L) est destiné à l'engraissement de veaux de boucherie abattus vers l'âge de 3 mois, le second (régime LCF) a été mis au point pour l'élevage des génisses et des bouvillons (MATHIEU et WEGAT-LITRE, 1961). Tous les animaux ont été élevés en cages à métabolismes durant l'expérience.

Cette première étude doit permettre de mieux préciser les besoins des veaux, engraisés ou sevrés précocement, et de discuter les recommandations habituelles pour l'alimentation minérale des jeunes bovins.

I — MÉTHODES EXPÉRIMENTALES ET MATÉRIEL UTILISÉ

1^o Animaux

L'expérience a porté sur 13 veaux mâles de race Normande, achetés à 7 jours, et maintenus en cages à métabolismes de leur 2^e à leur 15^e semaine.

Ces veaux ont été répartis en deux lots : 8 veaux reçoivent le régime L (lait seul), 5 veaux reçoivent le régime LCF (lait, concentré sec et foin).

Tous les animaux ont été abattus à la fin de l'expérience, et les contenus digestifs ont été pesés et analysés.

2^o Régimes alimentaires

Les quantités des différents aliments offertes et refusées ont été mesurées tous les jours pour chacun des veaux.

Le lait de mélange, contenant environ 3,5 p. 100 de matières grasses, a été distribué deux fois par jour (8 h et 17 h) à la température de 35°C. Les quantités journalières distribuées pour chacun des régimes sont indiquées dans le tableau I.

TABLEAU I

Quantités de lait distribuées (en litres par jour)

Âges, en semaines	Régime L	Régime LCF
1	4 à 6	4
2	8	5
3	9	6
4	10	5
5	12	4
6	13	3
7	14	2
8 à 15	14	0

Dans le régime L, les veaux n'ont consommé que du lait. Ils n'avaient pas de litière et n'étaient pas muselés.

Dans le régime LCF, l'aliment concentré, le foin et l'eau ont été offerts dès la 2^e semaine.

TABLEAU 2

Composition de l'aliment concentré et des composés minéraux utilisés

Concentré (p. 100)		Composés minéraux (p. 100)		
			A	B
Blé	30	Phosphate bicalcique	80	70
Orge	22 à 27	Chlorure de sodium	15	25
Tourteau de lin	30	Magnésie	4	4
Poudre de lait écrémé	10	Sulfate ferreux	0,3	0,3
Composé minéral	3 à 8	Sulfate de cuivre	0,02	0,02
Vitamines (U. I. pour 100 kg)				
A.....	1 200 000			
D ₂	400 000			

L'aliment concentré, présenté sous forme de mouture grossière, a été offert chaque jour à volonté jusqu'à un maximum de 2 kg par jour. Sa composition est donnée dans le tableau 2. La composition et la proportion du composé minéral introduit dans l'aliment concentré ont varié au cours de l'expérience pour maintenir le niveau d'ingestion le plus proche possible des recommandations de MORRISON (1950) du moins jusqu'au sevrage des veaux du régime LCF. Afin de calculer les quantités d'éléments minéraux devant être apportés par la ration nous avons tenu compte des résultats fournis par une expérience précédente, dans laquelle les variations de la consommation en foin et en aliment concentré avaient été étudiées (MATHIEU et WEGAT-LITRE 1961).

En revanche, chez ces mêmes veaux du régime LCF, nous n'avons pas cherché, après le sevrage, à limiter le niveau élevé d'ingestion d'éléments minéraux (assuré en particulier par le foin de luzerne pour le calcium, le phosphore et le magnésium).

Le composé minéral A (tabl. 2) a été incorporé à raison de 8 p. 100 de l'aliment concentré de la 1^{re} à la 5^e semaine, 6 p. 100 pour les 6^e et 7^e semaines, 4 p. 100 pour les 8^e et 9^e semaines. Le composé B a été utilisé de la 10^e à la 15^e semaine à raison de 3 p. 100 de l'aliment concentré.

Le foin distribué était un foin de luzerne donné à volonté, la proportion des refus étant maintenue à 10 p. 100 environ.

La composition minérale des aliments offerts (lait, aliments concentrés, foin) est donnée dans le tableau 3.

TABLEAU 3

Composition minérale des aliments offerts (en g par kg de matière sèche)

	Lait* (g par kg)	Foin de luzerne*	Aliment concentré			
			Avec 8 p. 100 de A	Avec 6 p. 100 de A	Avec 4 p. 100 de A	Avec 3 p. 100 de B
P	0,92	2,39	13,8	11,9	10,1	9,25
Ca	1,24	20,8	14,6	13,1	12,4	7,73
K	1,60	10,4	7,40	7,50	7,84	7,39
Na	0,46	2,35	5,92	5,10	3,25	3,79
Mg	0,13	3,22	3,80	3,30	3,23	3,16

* Teneurs moyennes durant l'expérience.

3° Collecte des excréta et prélèvement des échantillons

Les veaux ont été maintenus en cage à partir de leur 2^e semaine et les mesures de bilans n'ont été effectuées qu'à partir de la 4^e semaine, ce qui a permis une adaptation des animaux. Les fèces et l'urine ont été recueillis séparément et pesés chaque jour. La teneur en matière sèche des fèces a été déterminée après séjour au four à circulation d'air à 70°C.

Des échantillons pondérés ont été réalisés à partir de tous les prélèvements quotidiens, pour le lait, le foin, le concentré, les fèces et l'urine. Ceci a permis d'obtenir, après mélange, des échantillons moyens hebdomadaires. Le concentré, le foin et les fèces ont été broyés après séchage.

4^o Méthodes d'analyse

Pour les aliments solides et les fèces, la minéralisation a été effectuée par calcination au four à 530-550°C d'une prise de 1 g de poudre sèche. Les cendres ont été reprises sur bain de sable par HCl pur, puis mises en solution avec HNO₃ à 10 p. 100 et diluées avec de l'eau bi-distillée après filtration.

Pour le lait et l'urine, la minéralisation a été effectuée par attaque nitro-perchlorique sur bain de sable électrique, suivie d'une reprise à l'ébullition par de l'eau bi-distillée et d'une dilution convenable.

Le phosphore a été dosé par colorimétrie du phospho-vanado-molybdate d'ammonium. Le calcium, le potassium, le sodium, et le magnésium ont été dosés par spectrophotométrie de flamme, en tenant compte des interférences mutuelles des cations et éventuellement des quantités résiduelles d'acide perchlorique (GUEGUEN et ROMBAUTS, 1961).

II — RÉSULTATS

Ces expériences de bilans ont également été utilisées, par ailleurs, pour étudier l'évolution de l'utilisation digestive de la matière sèche, de la matière organique, des matières minérales totales et des matières azotées totales chez le veau (MATHIEU et WEGAT-LITRE, 1962). Tous les résultats indiqués sont les moyennes obtenues pour les 8 veaux du régime L et les 5 veaux du régime LCF.

1^o Quantités d'éléments minéraux ingérées et croissance des veaux

Avant de comparer l'utilisation des éléments minéraux dans les deux régimes, il importe de souligner quelques différences fondamentales entre les deux lots L et LCF.

Le tableau 4 montre l'évolution des quantités d'éléments minéraux ingérées par les veaux et met en évidence les différences importantes entre les deux régimes. Les quantités de calcium et de phosphore ingérées sont voisines jusqu'à la 8^e semaine, puis ensuite très supérieures chez les veaux du régime LCF. En revanche, le lait fournit plus de potassium que le régime LCF, du moins jusqu'à la 12^e semaine (le foin de luzerne distribué était relativement pauvre en K). Les quantités de sodium ingérées restent voisines jusqu'à la 12^e semaine, puis sont plus élevées chez les veaux du régime LCF. Quant au magnésium, les quantités fournies par le lait sont toujours très inférieures (2 à 5 fois moins) aux quantités fournies par le régime LCF.

TABLEAU 4

Quantités moyennes d'éléments minéraux ingérées par les veaux (en grammes par jour)

Age, en semaines		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Régime L	P ..	6,45	7,34	8,66	10,21	10,80	10,84	11,80	10,05	10,84	10,26	10,41
	Ca ..	9,05	9,96	12,21	14,00	15,00	14,90	16,23	14,52	15,23	14,31	14,23
	K ..	12,58	13,05	15,51	17,81	20,83	20,44	19,59	18,27	18,93	18,02	18,15
	Na ..	3,05	4,39	4,14	4,82	5,50	5,46	5,80	5,55	5,79	5,52	5,26
	Mg ..	0,89	1,05	1,26	1,47	1,60	1,58	1,69	1,53	1,61	1,52	1,62
Régime LCF	P ..	6,44	6,55	8,38	10,44	10,76	12,40	13,87	14,09	16,85	18,01	18,04
	Ca ..	9,92	10,86	14,92	17,96	22,13	23,75	28,22	25,40	29,75	33,11	32,14
	K ..	9,58	9,39	11,05	12,68	12,44	13,72	16,14	17,45	20,58	22,59	22,17
	Na ..	3,22	3,29	4,21	5,12	4,56	4,75	5,45	6,77	8,05	8,70	8,64
	Mg ..	1,48	1,73	2,59	3,32	5,07	5,97	5,92	6,33	7,61	8,46	8,34

Les vitesses de croissance ont été très différentes dans les deux cas (tableaux 5 et 6) ; en effet, durant la période de 11 semaines, le gain de poids vif moyen a été de 900 g par jour pour les veaux du régime L et de 665 g par jour seulement pour les veaux du régime LCF.

TABLEAU 5

Evolution des poids vifs moyens des veaux pour les deux régimes L et LCF, en kilogrammes (Pesées effectuées au début de chaque semaine)

Age, en semaines	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Régime L	50,4	56,4	63,7	70,0	79,1	84,8	89,4	98,1	103,3	107,1	113,4	119,3
Régime LCF	53,2	57,8	62,0	68,0	72,6	76,4	81,4	85,0	90,2	94,0	101,4	104,2

TABLEAU 6

Gains de poids vif et net (contenus digestifs exclus) de la 4^e à la 15^e semaine (moyennes durant toute la période de 11 semaines).

Régime		L	LCF
Gain de poids vif	Total, en kg	69 ± 3*	51 ± 1
	Par jour, en g	902 ± 57	665 ± 13
Gain de poids net	Total, en kg	67 ± 3	38 ± 1
	Par jour, en g	874 ± 41	490 ± 14

* Erreur type (σ_m)

En outre, il importe de tenir compte du rôle joué par le contenu digestif dans le gain de poids vif. En effet, dans l'accroissement de poids moyen de 51 kg (4^e à 15^e semaine) des veaux ayant reçu outre du lait, du concentré sec et du foin (régime LCF), il faut déduire l'augmentation de poids de 13 kg environ du contenu du tractus digestif (moyenne des mesures effectuées après l'abattage des veaux) : ceci donne un gain de poids net par jour de 490 g au lieu de 665 g en gain de poids vif. Dans le cas des veaux ne recevant que du lait (régime L), l'augmentation du poids du contenu digestif est faible (2 kg en moyenne) et le gain de poids net par jour est de 870 g au lieu de 900 g.

2^e Evolution de l'utilisation digestive apparente et de la rétention apparente des éléments minéraux de la ration

Avec l'âge des animaux, on observe une évolution très marquée des coefficients d'utilisation digestive apparente ($C. U. D. \text{ apparent} = \frac{\text{Ingéré} - \text{Fécal}}{\text{Ingéré}} \times 100$) et des coefficients de rétention apparente ($C. R. \text{ apparent} = \frac{\text{Ingéré} - \text{Fécal} - \text{Urinaire}}{\text{Ingéré}} \times 100$)

des éléments minéraux des deux régimes. Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 donnent les valeurs moyennes des CUD et des CR des éléments minéraux pour chacun des régimes.

Toutefois, ces évolutions ne peuvent être attribuées à l'âge seul. En effet, la croissance des veaux s'accompagne de variations importantes des quantités ingérées et des besoins, ces deux évolutions pouvant ne pas être parallèles. Les graphiques traduisent donc des évolutions dues à plusieurs facteurs qu'il est difficile de séparer.

FIG. 1. — Evolution de l'utilisation du phosphore de la ration par le veau.
(L'écart type σ_m est figuré de part et d'autre de chaque moyenne.)

Cependant, cette évolution présente un certain intérêt, notamment chez les veaux recevant du concentré et du foin (régime LCF), où le sevrage s'accompagne d'une diminution importante des CUD et des CR du phosphore et du calcium de la ration, sans qu'il y ait de variation sensible du niveau d'ingestion.

3° Influence du régime alimentaire

De façon très générale, le CUD et le CR des éléments minéraux sont plus élevés dans le cas du lait. Ces différences sont probablement liées à la nature du régime, ce qui est manifeste lors du sevrage des veaux du régime LCF. En revanche, après la

FIG. 2. — Evolution de l'utilisation du calcium de la ration par le veau

FIG. 3. — Evolution de l'utilisation du magnésium de la ration par le veau

FIG. 4. — Evolution de l'utilisation du potassium de la ration par le veau

FIG. 5. — Evolution de l'utilisation du sodium de la ration par le veau

8^e semaine, les différences enregistrées entre les deux régimes résultent surtout de l'inégalité des niveaux d'ingestion : les veaux sevrés (régime LCF) ingèrent beaucoup plus de calcium, de phosphore et de magnésium que les veaux ne recevant que du lait (régime L).

Toutefois, jusqu'au sevrage (régime LCF) les niveaux d'ingestion sont comparables (mis à part le magnésium), et nous constatons cependant que les éléments minéraux du lait, et particulièrement P et Ca, sont mieux absorbés et retenus que les éléments minéraux du régime mixte. Dans une expérience précédente (résultats non publiés) nous avons déjà constaté que P et Ca de la ration totale étaient d'autant mieux utilisés que la proportion de lait offerte était plus grande (100, 200, 300 ou 400 litres de lait), les veaux recevant par ailleurs un aliment concentré sec et du foin.

4^o Mode d'excrétion des éléments minéraux

L'excrétion du *phosphore* présente des particularités intéressantes. Dans le cas du régime ne comportant que du lait (L), 85 à 90 p. 100 du phosphore excrété est urinaire, et cette proportion varie peu avec l'âge (fig. 6). Au contraire, chez les veaux

FIG. 6. — Evolution de l'excrétion urinaire du phosphore par le veau (p. 100 de l'excrétion totale de P).

suivant le régime LCF, la proportion du P urinaire dans la quantité totale de P excrétée est beaucoup plus faible et diminue considérablement, de 66 à 25 p. 100 de l'excrétion totale.

Quel que soit le régime, le *calcium* urinaire est toujours faible (inférieur à 1 p. 100 de l'excrétion totale de Ca après la 7^e semaine) et l'absorption apparente est donc très voisine de la rétention nette.

L'excrétion urinaire de *magnésium* varie, pour les deux régimes, de 25 p. 100 environ à la 4^e semaine à 10 p. 100 environ à la 15^e semaine.

Pour le *potassium* et le *sodium* dont l'utilisation digestive apparente est très élevée l'excrétion s'effectue principalement par l'urine : en particulier, chez les veaux ne recevant que du lait (régime L), l'excrétion urinaire de K et Na représente 97 à 99 p. 100 de l'excrétion totale. Dans le cas du régime comportant du concentré et du foin (LCF), la proportion de l'excrétion urinaire dans l'excrétion totale diminue de 93 à 85 p. 100 pour K et reste de l'ordre de 90 p. 100 pour Na.

5^o Evolution des quantités journalières d'éléments minéraux retenues :

Les quantités journalières moyennes d'éléments minéraux retenues par les veaux des deux régimes sont rassemblées dans le tableau 7. L'évolution des quantités retenues est en général parallèle à l'évolution des quantités ingérées (voir tableau 4). Ainsi, dans le cas des veaux ne recevant que du lait, les quantités d'éléments minéraux retenues par jour n'augmentent plus à partir de la 10^e semaine, tandis que chez les veaux du régime LCF elles augmentent considérablement après la 10^e semaine.

TABLEAU 7

Quantités moyennes d'éléments minéraux retenues par les veaux (en grammes par jour)

Age, en semaines		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Régime L	P ...	4,90	5,65	7,36	8,17	8,64	7,91	9,09	6,53	7,26	6,36	6,45
	Ca ...	7,78	8,86	11,54	12,88	14,10	13,56	14,93	12,49	13,09	12,59	12,38
	K ...	6,92	6,52	7,91	7,30	10,41	8,99	8,62	8,04	8,71	8,11	7,62
	Na ...	2,16	1,92	2,40	2,45	3,02	3,33	3,33	2,91	3,01	2,87	2,76
Régime LCF	Mg ...	0,61	0,71	0,97	0,68	1,18	1,19	1,15	1,05	0,97	1,09	1,20
	P ...	4,89	4,42	5,65	5,95	4,30	4,90	5,13	5,71	8,00	9,18	8,57
	Ca ...	8,43	7,82	10,44	11,58	11,73	10,45	12,42	10,41	12,79	15,56	12,86
	K ...	3,83	3,57	3,92	4,75	2,80	4,12	3,87	4,54	6,17	6,55	6,21
Régime LCF	Na ...	1,33	1,30	2,40	2,79	2,21	2,47	1,82	2,71	3,74	3,48	3,45
	Mg ...	0,69	0,80	—	1,54	2,36	2,56	1,86	1,90	2,78	3,21	3,34

6^o Quantités totales d'éléments minéraux retenues. Influence du régime

Les quantités totales d'éléments minéraux retenues, figurant dans les tableaux 8 et 9, ont été calculées, pour les deux régimes, durant une période de 11 semaines, de la 4^e semaine incluse à la 15^e semaine exclue. Les quantités journalières moyennes de P, Ca et Na retenues sont peu influencées par le régime (12,2 et 11,3 g de Ca ; 7,1 et 6,1 g de P ; 2,7 et 2,5 g de Na). En revanche, les quantités journalières de Mg et de K retenues diffèrent considérablement selon le régime : les veaux du régime LCF retiennent deux fois plus de Mg que les veaux du régime L (influence des quantités

ingérées), tandis que les veaux du régime L retiennent beaucoup plus de K (8,1 g contre 4,6 g) que ceux du régime LCF, ce qui est dû à l'influence des quantités ingérées et vraisemblablement de la vitesse de croissance.

TABLEAU 8

Quantités de calcium et de phosphore retenues de la 4^e à la 15^e semaine (11 semaines)

Quantités retenues, en grammes	Régime L		Régime LCF	
	Ca	P	Ca	P
Totales (11 semaines)	939 $\pm$ 58 *	548 $\pm$ 37	871 $\pm$ 75	467 $\pm$ 33
Par jour	12,2 $\pm$ 0,5	7,1 $\pm$ 0,3	11,3 $\pm$ 1,0	6,1 $\pm$ 0,4
Par kg de gain de poids vif	13,6 $\pm$ 0,5	7,9 $\pm$ 0,3	17,1 $\pm$ 1,3	9,2 $\pm$ 0,2
Totales nettes (contenus digestifs exclus)	937 $\pm$ 58	546 $\pm$ 37	830 $\pm$ 55	455 $\pm$ 30
Par kg de gain de poids net.	14,0 $\pm$ 0,5	8,1 $\pm$ 0,3	21,8 $\pm$ 1,4	12,0 $\pm$ 0,3
Ca retenu	1,73 $\pm$ 0,06		1,82 $\pm$ 0,04	
P retenu				

* Erreur type (σ_m).

TABLEAU 9

Quantités moyennes de potassium, de sodium et de magnésium retenues par les veaux de la 4^e à la 15^e semaine (11 semaines)

Quantités retenues, en grammes	Régime L			Régime LCF		
	K	Na	Mg	K	Na	Mg
Totales (11 semaines)	624	211	76	352	194	156
Par jour	8,1	2,7	1,0	4,6	2,5	2,0
Par kg de gain de poids vif	9,0	3,0	1,1	6,9	3,8	3,0
Totales nettes (contenus digestifs exclus)	622	209	75	336	164	154
Par kg de gain de poids net	9,3	3,1	1,1	8,8	4,3	4,0

En tenant compte du poids et de la composition minérale des contenus digestifs, nous avons obtenu des valeurs corrigées donnant les quantités retenues de Ca et de P rapportées au gain de poids net (tableaux 8 et 9). Ceci conduit à de fortes différences dans la composition minérale du croît, particulièrement pour P, Ca et Mg : le gain de poids net contient 1,6 fois plus de Ca, 1,5 fois de plus de P, 1,4 fois plus de Na et surtout 3,6 fois plus de Mg dans le cas des veaux sevrés à 7 semaines (régime LCF). Les teneurs en K du gain de poids net sont voisines dans les deux régimes.

III — DISCUSSION

Il est difficile, dans l'interprétation des résultats, d'étudier séparément l'influence de chacun des facteurs complexes susceptibles d'influer sur l'utilisation des éléments minéraux par l'animal en croissance. C'est pourquoi, en général, seule l'influence conjuguée des facteurs de variation propres à l'animal (âge, vitesse de croissance) et des facteurs propres à la ration (quantités ingérées, nature de l'aliment) pourra être discutée.

*1° Variations des coefficients d'utilisation digestive
et des coefficients de rétention ; différences entre régimes.*

La diminution de l'utilisation digestive des éléments minéraux dans le cas des veaux recevant, outre le lait, du concentré sec et du foin (régime LCF) résulte principalement de l'accroissement des quantités ingérées, surtout pour Ca, P et Mg. Il est bien connu que l'animal peut s'adapter à des ingestions variables de ces éléments en modifiant leur absorption intestinale, les ingestions faibles conduisant à une utilisation digestive plus élevée. L'adaptation à des bas régimes en Ca et P a été mise en évidence dans de nombreux travaux (HENRY et *al.*, 1960 ; CAUSERET et HUGOT, 1958 ; NICOLAYSEN et *al.*, 1953). HARRISON (1959) a bien montré, dans le cas de Ca, que l'intestin pouvait ainsi jouer le rôle d'un mécanisme homéostatique, régularisant l'utilisation de Ca par l'organisme en fonction des apports et des besoins. Ceci permet d'expliquer, du moins partiellement, les différences considérables enregistrées entre les régimes étudiés (fig. 7).

Toutefois, l'influence de la nature du régime (à niveaux d'ingestion comparables) est également manifeste et se traduit par des différences entre lots avant la 7^e semaine (sevrage des veaux au régime LCF) et par une diminution brutale des CUD et des CR de P, Ca et Mg de la ration dès le sevrage. Les différences entre régimes peuvent être attribuées à plusieurs facteurs :

— La physiologie de la digestion est différente dans les deux cas : chez les veaux du régime L, le lait passe directement dans la caillette, tandis que chez les veaux du régime LCF le rumen est fonctionnel.

— Les veaux ne recevant que du lait (régime L) ont une croissance plus rapide, et donc, logiquement, des besoins minéraux accrus. Ceci pourrait favoriser l'utilisation des éléments minéraux du lait.

— La digestibilité réelle des éléments minéraux est vraisemblablement plus élevée dans le cas du lait : l'utilisation de P phytique des céréales par le veau est incomplète et le rôle du lactose du lait sur l'absorption intestinale de Ca est bien connu.

— L'excrétion fécale endogène de certains éléments minéraux serait plus forte chez les veaux recevant du concentré et du foin, ce qui accentuerait les différences entre les CUD de ces éléments pour les deux régimes. En effet, l'excrétion endogène est sans doute liée au volume des sécrétions digestives et en particulier de la salive. Ainsi, selon SMITH (1961), l'excrétion endogène de Mg, et peut-être de Ca, serait plus élevée chez les veaux au lait pouvant mâcher des copeaux de bois que chez les mêmes veaux muselés, la sécrétion salivaire étant différente dans les deux cas. De même, le volume de salive sécrété par les veaux du régime LCF est vraisemblablement très accru par l'ingestion de concentré et de foin.

La diminution du coefficient de rétention de P du lait, dont l'absorption intestinale reste élevée (fig. 1) semble due au fait que la quantité de Ca fournie par le lait n'est pas suffisante pour assurer l'utilisation maximum du phosphore. En effet, le lait fournit Ca et P dans le rapport de 1,3 tandis que la rétention de ces deux éléments s'effectue dans le rapport de 1,8. Au contraire, chez les veaux recevant du concentré et du foin (régime LCF), la fixation du P absorbé n'est pas entravée par une insuffisance en Ca et les évolutions du CUD et du CR sont parallèles. Le lait serait donc, paradoxalement, insuffisamment riche en calcium pour permettre l'utilisation maximum du phosphore qu'il apporte.

Contrairement aux autres éléments, le magnésium du lait est relativement mal absorbé (70 à 80 p. 100), bien que la quantité ingérée soit très faible. Ceci a déjà été constaté par BLAXTER et ROOK (1954).

2° Mode d'excrétion des éléments minéraux

Pour le calcium le mécanisme régulateur semble se situer au niveau de l'intestin (HARRISON, 1959). Ainsi, la diminution de l'absorption ou l'accroissement de la réexcrétion endogène de Ca lorsque la ration en apporte un grand excès (cas du foin de Luzerne) permet d'éviter une hypercalciurie et maintient à un taux très faible le calcium urinaire (moins de 1 p. 100 de l'excrétion totale). Ainsi, sur la figure 7, on

FIG. 7. — Variations de la répartition du calcium et du phosphore ingérés par les veaux
(Ingéré = Retenu + Fécral + Urinaire)

voit que le grand excès de Ca ingéré par les veaux du régime LCF est évacué dans les fèces.

Dans le cas du phosphore, il apparaît sur la figure 7 que, si la proportion de P urinaire diminue progressivement chez les veaux sevrés, en revanche les quantités journalières absolues excrétées par l'urine sont voisines dans les deux cas. Ainsi, puisque les quantités moyennes retenues sont également comparables, il semble que l'intestin exerce aussi une fonction régulatrice sur l'utilisation de P, compte tenu des apports et des besoins. L'augmentation de l'excrétion fécale endogène chez les veaux du régime LCF, en mobilisant la majeure partie du P non retenu disponible, pourrait aussi expliquer la diminution de l'excrétion urinaire de P, très faible chez les ruminants adultes.

L'excrétion urinaire de Mg, pour les deux régimes, n'est pas négligeable (25 à 10 p. 100 de l'excrétion totale). Dans le cas des veaux ne recevant que du lait, BLAXTER et ROOK (1954) trouvent que seulement 5 p. 100 du Mg excrété est urinaire. Mais l'utilisation de Mg semble varier considérablement avec l'individu : Ainsi RAVEN et ROBINSON (1958) trouvent des excrétions urinaires de Mg variant de 4 à 38 p. 100 de l'excrétion totale. Ceci expliquerait les fortes différences individuelles pour la sensibilité à l'hypomagnésémie qui, toutefois, apparaît rarement avant l'âge de 22 semaines chez les veaux ne recevant que du lait (SMITH, 1957 et 1958).

Le potassium et le sodium sont très bien absorbés et l'excrétion se fait principalement par l'urine. Toutefois, la ration de concentré et de foin conduit à une excrétion fécale de K représentant 10 à 20 p. 100 de l'excrétion totale : ceci est vraisemblablement dû à la digestibilité plus élevée du potassium du lait, puisque les quantités ingérées sont voisines dans les deux régimes.

3° Quantités totales d'éléments minéraux retenues

a) Calcium et phosphore :

Le rapport entre les quantités totales moyennes de Ca et de P retenues durant la période de 11 semaines considérée est de 1,73 pour les veaux n'ayant reçu que du lait et de 1,82 pour les veaux ayant suivi le régime LCF (tableau 8) ; mais cette différence entre régimes n'est pas significative ($P = 0,05$).

Les valeurs obtenues pour la composition du kilogramme de gain de poids net dans le cas des veaux du régime L sont en parfait accord avec les teneurs indiquées par ELLENBERGER et *al.* (1950) pour des veaux de 3 mois (14,5 g de Ca et 8,3 g de P par kg de corps entier dégraissé).

Nous avons vu (tableau 8) que, durant cette période de 11 semaines, les veaux du régime LCF retiennent par kilogramme de gain de poids net, 1,6 fois plus de Ca et 1,5 fois plus de P que les veaux du régime L. Ceci peut être attribué à plusieurs facteurs : d'une part, le lait distribué en grande quantité, permet une croissance corporelle très rapide par rapport aux éléments minéraux qu'il fournit ; d'autre part, la ration de concentré et de foin ne permet pas un gain de poids aussi important tandis que la croissance osseuse est assurée.

Quelques mensurations effectuées à la fin de l'expérience (hauteur au garrot, hauteur au sacrum, longueur totale...) donnent des valeurs très voisines pour les veaux des deux régimes. Ceci permet donc de croire, compte tenu des quantités totales

de Ca et de P retenues (environ 85 p. 100 du P et 99 p. 100 du Ca du corps se trouvant dans l'os), que le développement du squelette a été semblable dans les deux cas, indépendamment de la croissance corporelle totale.

b) *Magnésium* :

Contrairement à ce que nous avons constaté pour Ca et P, les quantités journalières moyennes de Mg retenues sont très différentes dans les deux régimes : les veaux du régime LCF retiennent deux fois plus de Mg que les veaux du régime L. En effet, les quantités de Mg ingérées sont très différentes, (le régime LCF fournit 2 à 5 fois plus de Mg que le régime L) et, en outre, la rétention du Mg du lait n'est pas très élevée (70 p. 100 en moyenne contre 90 p. 100 pour le calcium).

Compte tenu des différences de gain de poids, les veaux du régime LCF retiennent par kilogramme de gain net 3,6 fois plus de Mg que les veaux du régime L.

A quantités égales de Ca et de P retenues (rapport de 1,6 entre les deux régimes) et en admettant que 60 p. 100 du Mg du corps se trouve dans l'os (SMITH, 1957), on peut estimer approximativement que le squelette des veaux du régime LCF contient 2,8 fois plus de Mg que le squelette des veaux du régime L.

En fait, les travaux de SMITH (1959) et de THOMAS (1959) montrent que le magnésium de l'os est très labile (65 p. 100 du Mg de l'os serait simplement adsorbé à la surface des cristaux) et, dans le cas d'un régime très pauvre en Mg, sa concentration dans l'os peut être réduite au tiers de sa valeur normale. Cette mobilisation du Mg osseux se fait au profit des tissus mous et sert en particulier à freiner la chute de la magnésiémie.

Il n'existe pas, dans la littérature, de données précises sur la composition minérale du gain de poids non dégraissé chez le veau. Toutefois, pour les deux régimes étudiés, les teneurs en Mg du gain de poids sont particulièrement élevées, le rapport $\frac{\text{Ca retenu}}{\text{Mg retenu}}$ étant de 13,0 pour les veaux du régime L, et de 5,5 pour les veaux du régime LCF. En effet, si le rapport Ca/Mg de l'os normal est de 40 à 45 (SMITH, 1959 ; THOMAS, 1959), et si 60 p. 100 du Mg du corps se trouve dans le squelette, ce rapport devrait être de 24 à 27 dans le corps entier ; cependant, la composition minérale du corps entier n'est pas nécessairement identique à celle du gain de poids.

Nous n'ignorons pas le danger, signalé par DUNCAN (1958), de l'application de la méthode des bilans à la détermination de la composition minérale du croît, les résultats obtenus étant en général trop élevés (par suite de pertes inexplicables). Toutefois, l'erreur ainsi commise doit être bien inférieure aux écarts observés, et nous envisageons de contrôler ces résultats par des analyses corporelles.

c) *Potassium et sodium* :

Les quantités de K retenues par jour sont beaucoup plus élevées chez les veaux du régime L, ce qui peut s'expliquer par les différences de vitesse de croissance, portant principalement sur le développement des tissus musculaires. Les quantités journalières de Na retenues sont voisines dans les deux cas.

Pour les deux régimes, le gain de poids net contient des quantités voisines de K, tandis que la teneur en Na est plus élevée dans le cas du régime LCF ; en effet les veaux de ce dernier régime ont une proportion plus forte d'os, contenant une quantité non négligeable de Na et peu de K.

Les quantités de K et de Na retenues sont très importantes et ne vérifient pas la relation entre la rétention d'eau et la rétention de K et de Na établie par BLAXTER et ROOK (1956), chez des veaux à faible vitesse de croissance et recevant une ration de lait synthétique pauvre en potassium.

4^o Evolution des quantités journalières d'éléments minéraux retenues

Si les quantités totales de Ca et de P retenues sont du même ordre de grandeur pour les deux régimes (tableau 8), en revanche les évolutions des quantités journalières retenues diffèrent considérablement (tableau 8 et fig. 8). Pour chacun des régimes

FIG. 8. — Evolution des quantités journalières moyennes de calcium et de phosphore retenues par les veaux

les rétentions journalières de Ca et de P sont remarquablement parallèles ; si celles-ci sont synonymes de croissance osseuse, on peut conclure que l'édification du squelette ne s'effectue pas parallèlement pour les veaux des deux régimes. Chez les veaux du régime L.C.F. la vitesse de croissance osseuse est très ralentie durant plusieurs semaines après le sevrage, puis augmente rapidement après la 11^e semaine (ce qui est également lié aux variations de l'énergie nette et de la teneur en matières azotées digestibles de la ration). En revanche, chez les veaux du régime L, elle semble passer par un maximum vers la 10^e semaine (poids vif de 90 kg). Ceci s'explique simplement par les variations de l'apport : les quantités de lait distribuées n'augmentent plus à partir de la 9^e semaine dans le régime L.

L'évolution des quantités de Mg et Na retenues est parallèle à l'évolution des quantités ingérées. Dans le cas du régime LCF, les quantités journalières de Mg retenues quadruplent de la 5^e à la 14^e semaine. La rétention de K, élément essentiellement intracellulaire, semble au contraire beaucoup plus liée à la croissance corporelle et plus indépendante des quantités ingérées.

5° *Discussion sur les apports nécessaires pour couvrir les besoins — Conclusions*

Il est très difficile de fixer des recommandations alimentaires pour un animal en croissance ; en effet, les facteurs qu'il est nécessaire de bien définir pour établir ces recommandations (âge, vitesse de croissance, quantité ingérée, nature du régime) sont essentiellement variables. Ainsi, on ne peut diviser la rétention journalière que l'on juge « normale » pour un état physiologique déterminé, par un coefficient de rétention constant.

En outre, compte tenu du phénomène d'adaptation à des régimes pauvres en Ca et P, il est nécessaire, pour mieux préciser les quantités à apporter, de connaître les limites extrêmes de variation du C. R. en fonction du niveau d'ingestion.

a) *Veaux ne recevant que du lait (régime L).*

Les quantités de Ca et de P ingérées par les veaux de 50 et 100 kg du régime L (tableaux 4 et 5) correspondent approximativement aux recommandations de MORRISON (1950) (tableau 10). Pour le poids vif de 100 kg, le National Research Council (1958) et ROY (1958) proposent des apports inférieurs, notamment pour le calcium, dans le cas de veaux à faible vitesse de croissance (450 g par jour). Ces recommandations seraient donc valables pour des veaux ne recevant que du lait, dans la mesure où l'ossification obtenue à 100 kg puisse être jugée comme étant suffisante.

TABLEAU 10

Quelques recommandations pour l'apport de Ca et de P aux veaux, en grammes par jour

Poids vif, en kg	National Research Council (1958)		MORRISON (1950)		ROY (1958)	
	Ca	P	Ca	P	Ca	P
50	8,0	7,0	9,0	7,0	10,0	8,0
100	13,0	10,5	17,0	11,5	12,5	10,0

Compte tenu des quantités de Ca et de P disponibles, les besoins en K et Na sont également couverts par l'ingestion de lait seul.

En revanche, le lait serait trop pauvre en Mg : en effet, THOMAS (1959) recommande 4 g de Mg par jour pour un veau de 90 kg n'ayant reçu que du lait ; il faudrait alors, dans notre cas, tripler la teneur en Mg du lait.

b) *Veaux recevant du lait, de l'aliment concentré et du foin (régime LCF) :*

Les recommandations américaines et anglaises (tableau 10), sont imprécises (le régime alimentaire et la vitesse de croissance ne sont pas toujours indiqués) et manifestement insuffisantes pour les veaux de 100 kg recevant le régime LCF ; il est

logique d'adopter les ingestions minima permettant les plus fortes rétentions d'éléments minéraux par jour.

Compte tenu des coefficients de rétention observés pour les deux régimes (fig. 1 à 5) et de la possibilité d'accroître la proportion retenue en diminuant les quantités ingérées, nous avons adopté par hypothèse, des coefficients de rétention « probables » pour calculer les apports à effectuer (tableau II).

Ceci conduit, pour les veaux de 50 kg, à des ingestions journalières de Ca et de P en accord avec les recommandations de ROY (1958).

En revanche, dans le cas des veaux de 100 kg, les recommandations du tableau 10 sont très faibles par rapport aux valeurs que nous obtenons : 22 g de Ca et 15 g de P par jour.

Pour les veaux de 100 kg, qui ne reçoivent plus de lait, il est pratique d'exprimer les apports recommandés en g par kg de matière sèche de la ration totale (pour une consommation journalière de 3 kg de matière sèche). Ceci conduit aux concentrations suivantes : 7 g de Ca, 5 g de P, 3,5 g de K, 2 g de Na et 2 g de Mg par kg de matière sèche de la ration.

TABLEAU II

Quantités d'éléments minéraux retenues, coefficients de rétention « probables » et apports recommandés pour les veaux recevant une quantité limitée de lait, de l'aliment concentré et du foin à volonté

		Ca	P	K	Na	Mg
Poids vif de 50 kg	Retenu, g par jour ...	8,4	4,9	3,8	1,3	0,7
	C. R. probable	80	70	60	60	60
	Apports, g par jour ...	10,5	7,0	6,3	2,2	1,2
Poids vif de 100 kg	Retenu, g par jour ..	14,2	8,9	6,4	3,5	3,3
	C. R. probable	65	60	60	60	50
	Apports g par jour ...	21,6	14,8	10,5	5,8	6,6
	Apports *, g par kg de matière sèche,	7,2	4,9	3,5	1,9	2,2

* Les veaux de 100 kg, sevrés à 7 semaines, et qui reçoivent les deux tiers de leur ration sous forme d'aliment concentré, ingèrent en moyenne 3 kg de matière sèche par jour.

Bien entendu, pour mieux préciser ces recommandations, il est nécessaire de compléter ce travail par l'étude des variations de l'utilisation des éléments minéraux et particulièrement de Ca et P, de la ration, en fonction des quantités ingérées et de la croissance permise par l'apport énergétique et azoté.

Enfin, l'emploi de la méthode de dilution isotopique avec ^{32}P et ^{45}Ca , et des analyses de carcasses, doivent permettre de mieux expliquer les différences observées entre les deux régimes.

Reçu en mars 1962

SUMMARY

UTILIZATION BY THE CALF OF MINERALS IN THE FEED. THE INFLUENCE OF DIET.

1) The apparent digestibility and the apparent retention of the minerals (P, Ca, K, Na, Mg) have been studied in calves which were given two different diets : 8 calves were given only whole milk until the age of 15 weeks (diet L), 5 calves followed a diet of early weaning (diet LCF) comprising a limited quantity of milk, a concentrated feed and lucerne hay *ad lib.* (tab. 1, 2 and 3).

2) The animals were kept in metabolism cages from their 2nd to their 15th week and average weekly samples of the different food, faeces and urine were made from all the daily specimens.

3) Phosphorus was determined by the vanadate colorimetric method ; calcium, sodium, potassium and magnesium by flame spectrophotometry.

4) Fundamental differences between the two diets were found : diet L gave a more rapid growth (15 kg of additional live weight at 15 weeks) (tab. 5 and 6) ; diet LCF, especially after weaning, gave greater quantities of calcium, magnesium and phosphorus (tab. 4). It is therefore difficult to isolate the influence attributable to a diet.

5) The apparent digestibility (CUD) and the apparent retention (CR) of the minerals evolved during the experiment, particularly for phosphorus, calcium and magnesium, whose utilization decreased considerably after weaning in calves receiving diet LCF (fig. 1 to 5).

6) The minerals in milk were always much better utilized by the animal than those in diet LCF : this is linked with the very nature of the diet, but may also depend on the faecal metabolic re-excretion which was greater in the calves with diet LCF.

7) The part supplied by urine in the total excretion of phosphorus remained high (90 p. 100) in the calves fed diet L, and decreased from 66 to 25 p. 100 in the calves fed diet LCF (fig. 6). In each case the urinary excretion of calcium was very low (less than 1 p. 100 of the total) (fig. 7), while practically the whole of the sodium and potassium excreted was urinary. The magnesium content of urine was low but variable.

8) The daily quantities of calcium, phosphorus and sodium retained from the 4th to the 15th week were comparable in both diets. On the other hand, the calves fed diet L retained per day much less magnesium and more potassium than the calves fed diet LCF (tab. 7 and fig. 8).

9) The net gain in weight (excluding the digestive content) contained 1.6 times more calcium, 1.5 times more phosphorus, 1.4 times more sodium and chiefly 3.6 times more magnesium in the case of the calves fed diet LCF ; the potassium contents of the gain in weight were comparable in the two diets (tab. 8 and 9).

10) Finally, from the daily quantities retained and the coefficients of probable retention, certain recommendations have been made for the supply of minerals for calves of 100 kg which have been weaned early : 7 g of calcium, 5 g of phosphorus, 3.5 g of potassium, 2 g of sodium and 2 g of magnesium per kg of dry matter fed (tab. 11).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLAXTER K. L., ROOK J. A. F., 1954. Experimental magnesium deficiency in calves. 2. The metabolism of calcium, magnesium and nitrogen and magnesium requirements. *J. Comp. Path.*, **64**, 176-186.
- BLAXTER K. L., ROOK J. A. F., 1956. The indirect determination of energy retention in farm animals. II. Studies of the validity of the method. *J. Agric. Sci.*, **48**, 210-219.
- CAUSERET J., HUGOT D., 1958. Influence du taux calcique du régime alimentaire sur l'utilisation physiologique du calcium de divers sels. *Ann. Zootech.*, **7**, 69-87.
- DUNCAN D. L., 1958. The interpretation of studies of calcium and phosphorus balance in ruminants. *Nutr. Abstr. Rev.*, **28**, 695-715.
- GUEGUEN L., ROMBAUTS P., 1961. Dosage du sodium, du potassium, du calcium et du magnésium par spectrophotométrie de flamme dans les aliments, le lait et les excréta. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **1**, 80-97.
- ELLENBERGER H. B., NEWLANDER J. A., JONES C. H., 1950. Composition of the bodies of dairy cattle. *Vermont Agric. Exp. Sta. Bull.*, n° 558.
- HARRISON H. E., 1959. Factors influencing calcium absorption. *Feder. Proc.*, **18**, 1085-1092.
- HENRY K. M., KON S. K., TODD P. E. E., TOOTHILL J., TOMLIN D. H., 1960. Calcium and phosphorus metabolism in the rat : effect of age on rate of adaptation to a low calcium intake. *Acta Bioch. Polon.*, **7**, 167-186.

- MATHIEU C.-M., WEGAT-LITRE E., 1961. Mise au point d'une méthode d'alimentation des veaux d'élevage. I. Détermination de la quantité de lait nécessaire. *Ann. Zootech.*, **10**, 161-175.
- MATHIEU C.-M., WEGAT-LITRE E., 1962. Evolution de l'utilisation digestive des aliments secs chez le veau. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* (à paraître).
- MORRISON F. B., 1950. *Feeds and Feeding*, 25^e édition, 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.
- NICOLAYSEN R., EEG-LARSEN N., MALM O. J., 1953. Physiology of calcium metabolism. *Physiol. Rev.*, **33**, 424.
- RAVEN A. M., ROBINSON K. L., 1958. Studies of the nutrition of the young calf. A comparison of starch, lactose and hydrogenated palm oil, with butterfat, in milk diets. *Brit. J. Nutr.*, **12**, 469-482.
- 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.
- SMITH R. H., 1957. Calcium and magnesium metabolism in calves. Plasma levels and retention in milk-fed calves. *Biochem. J.*, **67**, 472-480.
- SMITH R. H., 1958. Calcium and magnesium metabolism in calves. 2. Effect of dietary vitamin D and ultra-violet irradiation on milk-fed calves. *Biochem. J.*, **70**, 201-205.
- SMITH R. H., 1959. Calcium and magnesium metabolism in calves. 4. Bone composition in magnesium deficiency and the control of plasma magnesium. *Biochem. J.*, **71**, 609-614.
- SMITH R. H., 1961. Effect of the ingestion of wood shavings on magnesium and calcium utilization by milk-fed calves. *J. Agric. Sci.*, **56**, 343-350.
- THOMAS J. W., 1959. Magnesium nutrition of the calf. *Proc. Symp. West Virginia University*, Sept. 1959, 131-153.
- WISE M. B., SMITH S. E., BARNES L. L., 1958. The phosphorus requirement of calves. *J. Anim. Sci.*, **17**, 89-99.
-