**L'EXPLORATION DE LA NUTRITION
PHOSPHO-CALCIQUE DES VACHES LAITIÈRES
AU MOYEN DU DOSAGE DU CALCIUM
ET DU PHOSPHORE DANS LES POILS ⁽¹⁾
(Deuxième Partie)**

PAR

M. BROCHART

Laboratoire de recherche de la chaire de Zootechnie
École Nationale Vétérinaire, Alfort

**VI. — RELATION ENTRE LES TENEURS EN Ca ET P
DU SQUELETTE ET DES POILS**

Nous avons utilisé pour cette étude 24 vaches d'abattoir, de race hollandaise. Les vaches d'abattoir ne représentent pas un matériel idéal, dans la mesure où sont surtout envoyées à l'abattoir des vaches laitières de réforme pour raison d'âge ou d'affections diverses. Pour corriger ce défaut, nous avons introduit dans l'échantillonnage un certain nombre de vaches gestantes de quelques mois, vaches que l'on peut, à priori, considérer comme « normales », dans la mesure où la fécondité est chez les bovins un critère physiologique de l'état de santé normal, ce qui est vrai le plus souvent.

Ne pouvant doser, pour des raisons techniques évidentes, le Ca et le P de la totalité du squelette d'un nombre suffisant de vaches, nous avons limité le prélèvement d'os à la portion moyenne de la branche du maxillaire inférieur, car cet os est un des premiers du squelette à se raréfier au cours des processus ostéolytiques (LÉRICHE), et est, de ce fait, susceptible de révéler assez précocement des anomalies du métabolisme phosphocalcique. La partie moyenne de la branche du maxillaire inférieur correspond à de l'os diaphysaire, dont l'ostéolyse n'a lieu qu'après celle de l'os épiphysaire ; la composition de l'os épiphysaire subit des fluctuations importantes, car il est le plus irrigué, et libère facilement de la substance osseuse. Par conséquent, des altérations de la composition de l'os diaphysaire ont des chances de représenter un trouble osseux réel et déjà avancé.

Ainsi que cela a été précisé au chapitre des techniques, nous dosons séparément le Ca et le P de 3 segments de la portion du maxillaire. Nous

⁽¹⁾ Voir Annales de Zootechnie, 1957 n° II.

envisagerons, d'une part, les valeurs moyennes en Ca et P de ces trois déterminations, et, d'autre part, la variation entre ces trois déterminations du Ca et P de chaque os, définie par le rapport suivant :

$$\frac{\text{écart max. entre les 3 déterminations}}{\text{moyenne des 3 valeurs}} \times 100$$
, que nous appellerons l'« **indice**

de mutation » phosphorique ou calcique, indice qui permet d'évaluer le degré de remaniement de la substance osseuse. Il nous a paru en effet

TABLEAU XI

Variabilité de la teneur de l'os en Ca et P

Vache N°	Phosphore %					Calcium %					
	1 (1)	2 (1)	3 (1)	Moy. (2)	I. M. (3)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	Moy. (2)	I. M. (3)	Ca moy. P moy.
21	8,6	9,5	10,1	9,4	16 %	19,4	22,3	21,8	21,1	14	2,24
22	10,1	10,2	11,3	10,2	11 %	25,5	20	16,4	20,6	44	2,02
27	10,2	9,9	11,3	10,4	13 %	20,7	15,6	21,9	19,4	33	1,86
29	10,0	10,4	9,1	9,8	13 %	24,1	21,3	20	21,8	18	2,22
30	10,3	9,6	11,1	10,3	14 %	15	18,5	19,8	17,7	27	1,72
32	8,3	10,1	10,7	9,7	24 %	20,5	24,5	18	21	30	2,17
37	11,9	12,7	10,3	11,6	20 %	22,7	18,3	18	19,6	24	1,79
38	10,8	11,3	8,1	10,0	32 %	21	21,4	17,4	19,9	20	1,87
45	11,2	11,7	8,9	10,6	26 %	21,7	23,6	15,9	20,4	37	1,92
46	10,5	10,8	10,7	10,6	2 %	24,5	24,3	20,9	23,2	16	2,18
47	11,7	11,2	7,4	10,1	42 %	22,8	22,9	14,1	19,9	44	1,97
48	10,2	10,0	12,2	10,8	21 %	24,7	22,5	22,9	23,3	9	2,15
49	9,3	11,5	9,2	10	23 %	24	26,5	21,2	23,9	22	2,39
50	10,6	10,2	9,1	9,9	15 %	25,8	26,7	20,7	24,4	24	2,45
52	10,6	10,7	10,5	10,6	2 %	27,7	22,8	23,8	24,7	20	2,31
60	7,8	11,6	10,2	9,8	38 %	19,1	24	25,7	22,9	29	2,33
63	11,6	12,1	11,7	11,8	4 %	25,3	23	23,3	23,8	10	2,01
64	9,8	10,0	11,2	10,3	13 %	25	24,1	22,9	24	28	2,33
65	15,5	10,1	11,6	12,4	43 %	29,6	20,5	25,7	25,2	36	2,04
70	9,7	9,9	10,6	10	9 %	23,9	29	24,4	25,7	20	2,57
71	10,6	10,1	10,6	10,4	5 %	25	26	24,8	25,2	5	2,42
74	10,4	10,6	10,6	10,5	2 %	32,5	27,3	25,8	28,5	23	2,70
75	10,5	10,8	10,5	10,6	3 %	27,2	30,2	23	26,8	27	2,52
77	8,8	12,5	8,6	9,9	39 %	17,9	20,6	20,2	19,5	44	1,97
Moyenne					10,4	17,9 %			22,6	25,16	2,17
Coefficient de variation...					6,7 %	75 %			11,9 %	43 %	

(1) Valeurs des 3 déterminations effectuées sur le même os.

(2) Moyenne des 3 déterminations.

(3) Indice de mutation $\frac{E}{M} \times 100$.

nécessaire d'exprimer quantitativement, même de façon très approximative, cette caractéristique dynamique de l'os qu'est l'ostéolyse. Or, il est classiquement démontré que l'ostéolyse n'est pas un processus attaquant uniformément la substance osseuse, mais qu'elle intéresse des os différents, et les différentes parties d'un même os, de façon très inégale. Par suite, la variation de composition de l'os devrait pouvoir rendre compte du processus ostéolytique. Une confirmation de cette hypothèse nous

semble fournie par le fait, discuté au paragraphe suivant, que nous avons obtenu une corrélation négative significative entre la teneur moyenne en Ca de l'os et l'indice de mutation calcique ; autrement dit, l'appauvrissement de l'os en Ca est lié à une plus grande variabilité de sa teneur en Ca en ses différents points.

a) Variations de la teneur en Ca et P de l'os.

On peut voir, à l'examen du tableau XI, que la teneur en Ca et P d'un même segment d'os varie de façon considérable d'un point à un autre, la teneur en Ca variant nettement plus que celle du P. Ces variations ont toutefois lieu dans le même sens, puisque la corrélation entre l'indice de mutation calcique et l'indice de mutation phosphorique est positive et significative (tableau XII). Cette variation de la teneur en Ca et P au sein d'un même os tient à un degré de remaniement plus ou moins important, exprimant vraisemblablement une ostéolyse passée, en cours, ou en réparation. Si cette hypothèse est exacte, on devrait observer une relation négative entre le degré d'ostéolyse (exprimé en indice de mutation), et la teneur moyenne en Ca et P, ce qui exprimerait le fait que, plus l'os est en remaniement, plus il a tendance à se raréfier. Il y a effectivement une corrélation négative significative ($= -0,39$) entre le taux de Ca moyen de l'os et l'indice de mutation calcique ; par contre, une telle corrélation n'existe pas entre le P moyen de l'os et l'indice de mutation phosphorique (tableau XII). Tout se passe donc comme si l'os en remaniement libérait du calcium mais non du phosphore. En examinant les valeurs moyennes de P, Ca et le Ca/P, on s'aperçoit que les déviations du $\text{Ca/P} < 2$ ou $> 2,4$ sont généralement dues à des variations importantes du calcium, plus qu'à des variations de la teneur moyenne en phosphore. La dispersion du P moyen est d'ailleurs environ inférieure de moitié à la dispersion du Ca moyen, et la corrélation entre le calcium moyen et le phosphore moyen est non significative.

TABLEAU XII

Corrélations entre les teneurs en Ca et P des poils du toupet et de la branche du maxillaire inférieur chez 24 vaches hollandaises d'abattoir.

I. Os

Ca moyen — Indice de mutation calcique.....	— 0,39*
P moyen — Indice de mutation phosphorique.....	+ 0,10
Ca moyen — P moyen.....	+ 0,34
I. de mutation calcique — I. de mutation phosphorique.....	+ 0,53*

II. Os — Poils

Ca poils — Ca moyen os.....	— 0,15
Ca poils — Indice de mutation calcique de l'os.....	+ 0,72*
P poils — P moyen os.....	+ 0,13
P poils — Indice de mutation phosphorique de l'os.....	— 0,18

(*) Corrélations significatives ($p = 0,05$).

b) **Relations entre la teneur en Ca et P de l'os et des poils** (tableau XIII).

On observe une corrélation positive et hautement significative ($r = + 0,72$) entre l'indice de mutation calcique de l'os et le taux de calcium dans le poil, ce qui correspond au fait que, plus l'os est en remaniement, plus il libère du calcium, qui apparaît dans le poil (fig. 12).

FIG. 12.

Par contre, il n'existe pas de corrélation significative entre le taux moyen de Ca de l'os et le Ca du poil, alors que, logiquement, le Ca mobilisé à partir du squelette devrait avoir pour conséquence un enrichissement en Ca du poil. Le fait que la corrélation entre le Ca moyen de l'os et le Ca du poil est non significative, alors que la corrélation entre l'indice de mutation calcique et le Ca du poil est significative, peut tenir au fait que l'indice de mutation calcique exprime mieux, sur le plan du système osseux dans son ensemble, le processus de l'ostéolyse, que la teneur moyenne d'un fragment d'os. Quoi qu'il en soit, la teneur en calcium du poil paraît être en relation avec une caractéristique importante du tissu osseux, qui est l'intensité des processus de remaniement de la substance osseuse.

En ce qui concerne le phosphore du poil, il n'est en corrélation significative ni avec le phosphore moyen de l'os, ni avec l'indice de mutation phosphorique, ce qui paraît confirmer le fait que les réserves de phosphore du squelette sont peu mobilisables, ou que, en tout cas, si elles sont mobilisées, elles ne sont pas fixées dans le poil. Il n'y a pas de corré-

lation entre le Ca et le P des poils, ce qui plaide également en faveur d'une régulation de Ca indépendante de celle de P.

TABLEAU XIII
Teneurs en Ca et P de l'os et des poils.

Vache n°	P			Ca		
	OS (%)		Poils (P. 1000)	OS (%)		Poils (P. 1000)
	I. M. (3)	P moy. (2)		I. M. (3)	Ca moy. (2)	
21	16	9,4	0,23	14	21,1	1,74
22	11	10,2	0,24	44	20,6	3,26
27	13	10,4	0,23	33	19,4	3,0
29	13	9,8	0,26	18	21,8	2,72
30	14	10,3	0,14	27	17,7	2,50
32	24	9,7	0,25	30	21	2,42
37	20	11,6	0,20	24	19,6	2,60
38	32	10,0	0,20	20	19,9	2,38
45	26	10,6	0,22	37	20,4	2,72
46	2	10,6	0,26	16	23,2	2,02
47	42	10,1	0,25	44	19,9	2,72
48	21	10,8	0,20	9	23,3	2,20
49	23	10	0,28	22	23,9	2,12
50	15	9,9	0,23	24	24,4	2,88
52	2	10,6	0,32	20	24,7	2,50
60	38	9,8	0,26	29	22,9	3,08
63	4	11,8	0,24	10	23,8	1,84
64	13	10,3	0,25	28	24	2,22
65	43	12,4	0,23	36	25,2	2,78
70	9	10,0	0,29	20	25,7	2,28
71	5	10,4	0,27	5	25,2	2,20
74	2	10,5	0,20	23	28,5	2,76
75	3	10,6	0,28	27	26,8	2,90
77	39	9,9	0,22	24	19,5	2,84
Moyenne	17,9	10,4	0,24	25,1	22,6	2,52

(2) Voir tableau II.

(3) Voir tableau II.

L'apparition de calcium dans les tissus au cours des processus d'ostéolyse est très générale ; ce phénomène de « mutation calcique » (LERICHE) est observé dans diverses maladies humaines, notamment la sclérodermie, la maladie de RECKLINGHAUSEN, la maladie de PAGET. On l'observe chez le mouton, dans le darmous, où il y a des calcifications artérielles et ganglionnaires, qui sont la traduction de la surcharge calcique des humeurs locales entraînée par l'ostéolyse importante qui accompagne la fluorose. L'hypervitaminose D entraîne également une ostéolyse importante, avec calcifications secondaires dans le rein, le cœur, l'aorte. Tout permet de penser que l'ostéolyse d'origine carentielle se traduit également par l'apparition d'un excès de calcium dans les humeurs et certains tissus mous. Cette mobilisation du calcium prend un aspect excessif, et LERICHE a pu parler d'un véritable « gaspillage calcique ». Le calcium est mobilisé vraisemblablement de façon cyclique, chaque fois que l'organisme est en ca-

rence. Ce calcium mobilisé est, soit utilisé (mamelle, fœtus, etc.), soit excrété ; par contre, il est évident que les surcharges calciques temporaires intéressant le follicule pileux ne peuvent être éliminées une fois le Ca fixé dans le poil. C'est pourquoi le poil devrait être un excellent révélateur de ces surcharges calciques temporaires.

On en arrive donc à cette notion apparemment paradoxale que la carence en calcium se traduit par de la surcharge calcique des poils, tout au moins en phase de compensation, et lorsque le calcium endogène n'est pas utilisé en totalité. Ce point nous paraît particulièrement important, car il peut être d'un certain secours pour le diagnostic de la carence calcique ; il faut évidemment tenir compte du fait qu'il existe un temps de latence de deux à trois mois entre les variations de la calcémie et leurs traductions dans les poils.

Pour le phosphore, les faits sont différents : le P osseux paraît moins mobilisable que le calcium ; l'organisme est donc beaucoup plus dépendant des apports extérieurs, ce qui expliquerait, dans une certaine mesure l'extériorisation plus fréquente et plus rapide de la carence phosphorique. Ces résultats sont en accord avec la notion actuellement admise d'après laquelle les réserves osseuses ne semblent pas participer de façon efficace au maintien de la phosphatémie (HOWARD).

VII. — RELATION ENTRE LES APPORTS ALIMENTAIRES PHOSPHO-CALCIQUES ET LA TENEUR DES POILS EN Ca ET P

Nous avons utilisé pour cette étude 21 élevages de race Hollandaise pie noire. Nous avons recherché des élevages présentant de grandes variations dans l'importance de leurs effectifs, leur niveau de sélection, leur production laitière, leur fécondité. La majorité des élevages étudiés est située dans le Bassin parisien ; les autres proviennent de la Meuse et de l'Aisne. Suivant l'importance des effectifs, la proportion des vaches de chaque exploitation dont les poils ont été prélevés a varié de 20 à 100 p. 100 ; lorsque les prélèvements de poils n'ont été réalisés que sur une partie de l'effectif, nous avons effectué un échantillonnage autant que possible représentatif de l'effectif. Les prélèvements de poils ont été effectués après un minimum de deux mois d'alimentation hivernale (hiver 1955-56), afin que la correspondance entre la teneur des poils en Ca et P et les apports alimentaires en ces éléments puisse être établie, ce qui est pratiquement impossible lors d'alimentation à l'herbage.

Dans la majorité des cas, les apports alimentaires en Ca et P ont été calculés à partir des valeurs des tables alimentaires, et sont donc approximatifs. Les apports et les besoins ont été calculés selon les normes du labo-

ratoire de Zootechnie de l'Institut National Agronomique, pour une production de 20 litres de lait et un poids de 700 kg, soit des besoins totaux en Ca de : entretien 35 + production 80 = 115 g, et en P de : entretien 21 + production 60 = 81 g. Ces normes sont très supérieures à celles utilisées à l'étranger (tableau XIV).

TABLEAU XIV
Normes d'alimentation phospho-calcique.

		Institut Nat Agronomique	MORRISSON	Ministère de l'Agriculture Britannique	HIGNETT	National Research Council (USA)
Ration d'entretien et de production (vache de 700 kg, à 20 kg de lait)	Ca P	115 81	59,5 48,5	75 46	59	56 45
	Ca/P	1,42	1,23	1,63		1,24

Les apports en vitamine D sont difficiles à apprécier : la plupart des rations de base contiennent de 5 à 8 kg de foin de luzerne moyennement ensoleillé ; les apports minimum en vitamine D sont donc à peine suffisants (ABRAMS, MELYUKOV et SOLUN). Dans certaines exploitations, des apports vitaminiques A et D supplémentaires sont fournis ; certains effectifs sortent quelques heures par jour durant tout l'hiver, alors que d'autres ne sortent pas pendant 6 mois, si bien que les apports et les possibilités de synthèse en vitamine D sont très variables. Ceci explique sans doute pourquoi, comme cela sera précisé par la suite, des rations théoriquement insuffisantes sont néanmoins compatibles avec des indices physiologiques (fécondité, production laitière) normaux, et inversement. Il est malheureusement impossible de rendre compte quantitativement de ces différences d'apports en vitamine D.

Les rations observées dans cette étude peuvent être classées, en fonction des normes utilisées, du point de vue des apports en Ca et P, en trois types principaux :

- 1° Carence en Ca et P : 5 cas.
- 2° Excès de Ca et carence en P : 9 cas.
- 3° Excès de Ca et de P : 7 cas.

1° Variation de la teneur en Ca et P des poils des vaches d'une même exploitation. Expression des résultats

Il apparaît à l'examen du tableau XV que la dispersion est comparable dans la plupart des effectifs, et qu'elle est du même ordre de grandeur pour Ca et P, à 4 exceptions près (n° 8, 11, 16, 23.)

L'amplitude de la variation dans chaque effectif est importante et tient à des facteurs qu'il est facile de concevoir : rationnement différent,

productions laitières variables, différences d'âge, de stade de gestation, etc. Il en résulte que l'exploration d'un effectif ne peut pas être limitée à un nombre trop faible d'animaux.

Afin de présenter, dans la suite de cette étude, les résultats de façon à la fois claire et néanmoins représentative de la variabilité des valeurs de Ca et P, nous avons classé les valeurs individuelles de chaque effectif en trois catégories pour le phosphore (P faible, moyen, élevé), et deux catégories pour le calcium (valeurs supérieures ou inférieures à 2,35 p. 1000). Ces catégories sont définies en fonction des valeurs de P et Ca présentant une signification physiologique qui est précisée par la suite (page 219).

TABLEAU XV

Dispersion des valeurs de Ca et P des poils par effectif.

Élevage n°	Nombre de vaches	P			Ca		
		Extrêmes (p. 1000)	Moyenne (p. 1000)	Coefficient de variation %	Extrêmes (p. 1000)	Moyenne (p. 1000)	Coefficient de variation %
1	16	0,18-0,29	0,24	14	1,96-3,14	2,55	14
2	6	0,16-0,26	0,20	20	1,64-2,80	2,31	17
3	21	0,17-0,28	0,22	15	1,33-2,52	1,91	20
4	17	0,15-0,25	0,22	15	1,60-3,48	2,50	17
5	12	0,19-0,31	0,23	19	1,64-3,18	2,51	17
6	18	0,15-0,26	0,21	15	1,92-3,52	2,49	17
8	6	0,20-0,29	0,25	13	2,30-4,24	3,34	24
9	18	0,17-0,32	0,24	19	1,46-3,10	2,24	21
10	7	0,16-0,25	0,21	17	2,40-3,64	2,91	15
11	15	0,18-0,32	0,24	17	2,16-2,80	2,38	11
13	18	0,15-0,29	0,23	17	1,56-3,28	2,44	18
14	8	0,17-0,27	0,21	18	1,62-2,72	2,06	21
16	8	0,16-0,37	0,28	25	1,96-2,64	2,38	10
18	14	0,15-0,27	0,22	16	2,0 -3,74	2,90	16
19	15	0,18-0,26	0,21	11	1,96-2,90	2,33	11
20	16	0,18-0,29	0,22	15	1,74-2,72	2,0	14
21	20	0,16-0,34	0,26	17	1,88-2,94	2,41	15
22	20	0,18-0,29	0,23	14	1,52-2,56	1,98	18
23	11	0,17-0,29	0,23	16	2,10-2,84	2,38	10
24	11	0,17-0,33	0,26	15	1,68-3,05	2,38	17
25	11	0,20-0,29	0,24	15	1,38-2,44	1,97	14
	288		M = 0,23	M = 16 %		M = 2,39	M = 16 %

2° Influence de la carence alimentaire calcique et phosphorique sur la teneur en Ca et P des poils

Ce groupe d'élevages (tableau XVI) est caractérisé :

1° Par une carence alimentaire calcique variant de 15 à 50 g, et une carence phosphorique variant de 36 à 54 g, le rapport Ca/P est égal ou supérieur à 2,2 dans quatre cas sur cinq.

2° Par des productions laitières faibles.

3° Par une fécondité médiocre ou mauvaise.

TABEAU XVI
Élevages à carence calcique et phosphorique (Ca — P —).

Élevage n°	Nombre de vaches	Apports alimentaires (1)			Phosphore des poils (2)			Calcium des poils (3)			S. F. (4)	Produc- tion laitière (5)
		Ca	P	Ca/P	> 0,24	0,21 — 0,24	< 0,21	< 2,35	> 2,35	Moy.		
4	17	75	34	2,2	5	6	6	5	12	2,50	2,2	3 600
14	8	100	37	2,7	2	1	5	5	3	2,06	1,9	?
18	14	88	24	3,6	5	5	4	2	12	2,90	2,0	?
23	11	95	27	3,5	4	4	3	5	6	2,41	2,5	3 200
10	7	64	45	1,4	2	2	3	0	7	2,91	6,0	3 800
	57	Total			18	18	21	17	40			
		%			31,5	31,5	37	30	70			
		Moyenne								2,55		

(1) Le mode de calcul des apports et des besoins en Ca et P est précisé page 191.
(2) Les trois premières colonnes indiquent, pour chaque étable, la répartition des valeurs du phosphore des poils en valeurs fortes, moyennes et faibles (p. 1000).
(3) Les deux premières colonnes indiquent la répartition, pour chaque étable, des valeurs de Ca des poils inférieures ou supérieures à 2,35 p. 1000.
(4) S. F. = moyenne de saillies nécessaires par fécondation pour les vaches dont les poils ont été prélevés, au cours des 6 mois précédant le prélèvement.
(5) Production laitière moyenne par vache, calculée sur tout l'effectif, vaches dont les poils n'ont pas été prélevés comprises, au cours de l'année 1954.

4° Par l'existence de pica à l'état chronique dans 2 exploitations (n° 4 et 18).

En ce qui concerne la teneur en Ca des poils, on observe des moyennes d'effectifs élevées ($> 2,35$) dans 4 cas sur 5 ; 70 p. 100 des valeurs individuelles sont supérieures à 2,35. Ce phénomène est en accord avec l'existence du mécanisme compensateur de la carence calcique, qui a été discuté

DIAGRAMME I.

précédemment (voir page 189). Ce mécanisme compensateur est, chez diverses espèces, associé à l'hypertrophie des parathyroïdes, observée lorsque l'alimentation est carencée en calcium (diagramme 1), que ce soit en valeur absolue, ou du fait d'un déséquilibre minéral causé par un excès de phosphore (PIERRE et coll., HAM et coll., BAUMANN et SPRINSON, LIÉ-GEOS et DERIVAUX, BARTTER, STOERK et CARNES). Dans le matériel que nous avons étudié, le facteur stimulant de la mobilisation calcique paraît être dans 4 cas (élevage n° 4, 14, 18, 23) uniquement le déficit d'apport calcique ; dans 1 cas (élevage n° 10) où il y a à la fois déficit d'apport calcique

et une faible valeur du rapport Ca/P, ces deux facteurs peuvent être à l'origine de la surcharge calcique des poils.

Les valeurs du phosphore sont faibles ($< 0,23$) dans 4 exploitations sur 5 ; 37 p. 100 des valeurs individuelles sont inférieures à 0,21. Ceci semble confirmer qu'il n'y a pas de compensation manifeste de la carence phosphorique, ce qui est en accord avec l'existence de deux cas d'étables atteintes de pica chronique, affection qui n'a été observée, dans notre étude, qu'avec ce type d'alimentation. Nous avons vu, lors de l'étude des relations entre les teneurs en Ca et P de l'os et des poils, que le phosphore osseux ne paraissait pas être libéré aussi facilement que le calcium. En admettant même que l'organisme dispose d'une réserve de phosphore endogène, squelettique ou non, le phosphore mobilisé doit être rapidement éliminé et perdu pour l'organisme, puisque l'action fondamentale, sinon primaire, de l'hormone parathyroïdienne est l'abaissement du seuil rénal d'élimination des phosphates (diagramme 1), ce qui entraîne l'hyperphosphaturie et l'hypophosphatémie. Il paraît donc théoriquement difficile que dans le cas de carence associée en Ca et P, il puisse y avoir compensation simultanée des deux carences.

Sur cinq cas de carence, prévus à partir du calcul des apports alimentaires, quatre paraissent confirmés par l'existence de troubles physiologiques (S. F. > 2), de pica, et d'une faible production laitière. Seule, l'exploitation n° 14 paraît indemne de troubles de fécondité ; c'est celle dont le Ca moyen est le plus faible.

3° Influence de l'excès calcique associé à la carence phosphorique sur la teneur en Ca et P des poils

Ce groupe d'élevage est caractérisé (tableau XVII) :

1° par un excès alimentaire calcique variant de 11 à 186 g, et un déficit phosphorique variant de 9 à 48 g ; le Ca/P est égal ou supérieur à 2,3 dans tout les cas,

2° par des productions laitières moyennes,

3° par une fécondité médiocre ou mauvaise (S. F. > 2) dans 7 cas sur 9.

En ce qui concerne le Ca des poils, dans 6 cas sur 9, la moyenne est supérieure à 2,35, et 51,5 p. 100 des valeurs individuelles sont supérieures à 2,35. Dans ce type de ration, comme dans le précédent, la tendance générale est donc également en faveur de la surcharge calcique des poils.

Divers arguments plaident en faveur du caractère exogène de cette surcharge calcique, à l'opposé du caractère vraisemblablement endogène de la surcharge observée dans la carence calcique.

Chez le rat, (SHIELDS et MITCHELL, 1946), on observe des dépôts de calcium dans les tissus mous (muscles, cœur, reins) quand la quantité de Ca ingérée est de l'ordre de 1 p. 100 de la matière sèche totale de la ration.

TABLEAU XVII
Élevages à excès calcique et carence phosphorique (Ca + P —).

Élevage n°	Nombre de vaches	Apports alimentaires (1)			Phosphore des pails (2)			Calcium des pails (3)			S. F. (4)	Produc- tion laitière (5)
		Ca	P	Ca/P	> 0,24	0,21 — 0,24	< 0,21	Moy.	< 2,35	> 2,35		
16	8	126	50	2,5	6	1	1	0,28	3	5	4	3 500
2	6	130	33	3,9	1	2	3	0,20	2	4	2,2	4 100
13	17	174	37	4,7	7	6	4	0,26	8	9	2	4 500
19	15	159	55	2,8	2	6	7	0,21	9	6	1,4	4 300
21	20	161	68	2,3	15	2	3	0,26	10	10	2,0	4 800
6	18	285	69	3,2	4	6	8	0,21	6	12	2	4 100
8	6	213	66	3,2	5	—	1	0,25	1	5	3,6	4 300
20	16	199	67	2,9	2	8	6	0,22	15	1	1,7	4 400
1	16	301	72	4,1	9	4	3	0,24	5	11	2,3	4 000
	122	Total			51	35	36		59	63		
		%			41,8	28,7	29,5		48,5	51,5		
		Moyenne						0,236				2,45

(1) (2) (3) (4) (5) ; voir tableau XVI.

Par contre, chez les bovins, il a été signalé (SHERMAN, WESTERLUND), que l'augmentation des apports calciques n'entraîne pas d'augmentation du Ca absorbé ni de dépôts de Ca dans les tissus ; toutefois, les quantités maximum de Ca ingéré dans les expériences effectuées par ces auteurs ne paraissent pas très élevées, et sont de l'ordre de 100 à 120 g. Dans les élevages étudiés par nous, les quantités de Ca ingérées sont très supérieures, même

DIAGRAMME 2.

si l'on admet que ces apports ont pu parfois être surestimés du fait qu'ils ont été calculés, pour la plupart, à partir des tables alimentaires. Les quantités de Ca ingérées ont varié de 126 à 301 g ; le pourcentage de Ca par rapport à la matière sèche totale est fréquemment de l'ordre de 2 p. 100 et même plus. Il semble donc qu'il puisse y avoir une surcharge calcique due à un excès calcique alimentaire, dans la mesure où l'absorption atteint une valeur d'environ 230 à 250 g de Ca, l'apport phosphorique étant inférieur aux besoins.

Un autre argument qui plaide en faveur d'une origine exogène de la surcharge calcique des poils observée avec les rations de type « Ca + P — » est l'inversion dans la traduction de la carence phosphorique.

En effet, les valeurs du phosphore des poils observées dans ce type de ration sont élevées, à l'opposé de ce qui est observé dans la carence en Ca et P associée. Dans 5 élevages sur 9, le P moyen est supérieur à 0,23, et on observe des valeurs très élevées, allant jusqu'à 0,26 et même 0,28 ; 42 p. 100 des valeurs individuelles sont supérieures à 0,24. La différence entre le P moyen de ce groupe d'élevages (0,238) et celui du groupe « Ca-P- » (0,214) est statistiquement significative (tableau XIX).

On observe donc une inversion dans la traduction de la carence phosphorique selon que l'apport alimentaire calcique est déficitaire ou excessif. On pourrait penser que le phénomène de surcharge phosphorique observé avec les rations de type « Ca + P- » résulte d'une hypercompensation analogue à l'hypercompensation calcique. Mais nous avons déjà cité les arguments qui s'opposent à un tel mécanisme (pages 187, 190).

Une autre hypothèse nous paraît plus plausible : divers auteurs (PIERRE et coll., STOERK et CARNES) ont mis en évidence une inhibition de la parathyroïde lors d'excès alimentaire calcique, réaction qui paraît d'ailleurs indispensable à l'homéostasie sanguine (diagramme 2). Cette inhibition doit entraîner nécessairement : 1^o l'arrêt de l'ostéolyse, 2^o l'élévation du seuil d'élimination urinaire des phosphates, l'hypophosphaturie, l'hyperphosphatémie, et, par conséquent, la surcharge phosphorique des poils (diagramme 2). Cette dualité dans les possibilités de traduction sanguine de la carence phosphorique en fonction des apports alimentaires calciques permettrait peut être d'expliquer pourquoi, selon un groupe d'auteurs, (BLOCH et coll., ECKLES et coll., JARL, GREEN et DU TOIT), l'hypophosphatémie est une traduction relativement précoce de l'aphosphorose, et donc valable pour le diagnostic, alors que pour d'autres auteurs (HEINEMANN et coll., HIGNETT, O'MOORE, PALMER et coll., SWENSON et coll.), il n'y a pas de traduction sanguine de la carence phosphorique, notamment de la carence phosphorique dite « conditionnée », c'est-à-dire due à un excès calcique, l'apport phosphorique théorique étant suffisant.

Sur 9 cas d'excès calcique et de carence phosphorique prévus par le calcul des apports alimentaires, 7 paraissent confirmés par des troubles physiologiques (S. F. > 2). Les deux exceptions sont les élevages n^o 19 et 20 ; dans le cas 19, les vaches bénéficient tout l'hiver d'une irradiation de plusieurs heures par jour, ce qui peut améliorer l'assimilation du phosphore alimentaire.

TABLEAU XVIII
Élevages à excès calcique et phosphorique (Ca + P +).

Élevage n°	Nombre de vaches	Apports alimentaires (1)			Phosphore des poils (2)			Calcium des poils (3)		S. F. (4)	Produc- tion laitière (5)	
		Ca	P	Ca/P	> 0,24	0,21 — 0,24	< 0,21	Moy.	< 2,35			> 2,35
3	21	137	114	1,2	6	7	8	0,22	18	3	1,91	4 150
11	15	149	107	1,4	9	2	4	0,25	9	6	2,38	4 500
9	18	222	97	2,2	10	2	6	0,24	11	7	2,24	5 200
22	20	242	101	2,4	8	6	6	0,23	16	4	1,98	7 200
5	12	740	245	3,0	6	1	5	0,23	5	7	2,50	4 900
24	11	218	90	2,4	8	2	1	0,26	5	6	2,38	5 000
25*	11	?	?	?	5	5	1	0,24	10	1	1,97	5 600
	108	Total			52	25	31		74	34		
		%			48	23	29		68,5	31,5		
		Moyenne						0,239			2,17	

(1) (2) (3) (4) (5) : voir tableau XVI.

(*) Les apports fournis par l'alimentation sont de Ca = 110, P = 51. Les vaches ont, de plus, accès permanent, hiver comme été, à des pierres à lécher contenant 25 % Ca, 4 % P et de la vitamine D.

(1) (2) (3) (4) (5) : voir tableau XVI.

(*) Les apports fournis par l'alimentation sont de Ca = 110, P = 51. Les vaches ont, de plus, accès permanent, hiver comme été, à des pierres à lécher contenant 25 % Ca, 4 % P et de la vitamine D.

4^o Influence de l'excès alimentaire calcique et phosphorique sur la teneur en Ca et P des poils

Ce groupe d'élevage (tableau XVIII) est caractérisé :

1^o par un excès alimentaire calcique variant de 22 à 625 g, et un excès phosphorique variant de 11 à 164 g, Le rapport Ca/P est variable, mais les valeurs faibles et moyennes sont prédominantes.

2^o par des productions laitières élevées ou très élevées.

3^o par une proportion élevée d'étables fécondes (4 sur 7).

Cette catégorie d'élevages correspond donc aux étables d'un haut niveau de sélection et de production.

En ce qui concerne la teneur en Ca des poils, 6 exploitations sur 7 présentent des valeurs moyennes inférieures ou sensiblement égales à 2,35 ; 68 p. 100 des valeurs individuelles sont inférieures à 2,35.

Les différences entre le Ca moyen de ce groupe d'élevages (2,17) et les Ca moyens des groupes « Ca-P - » et « Ca + P- », sont statistiquement significatives. (tableau XIX). Le seul élevage où le Ca moyen est nettement supérieur à 2,35 est celui où l'excès calcique est très considérable.

TABLEAU XIX

Influence de l'alimentation sur la teneur des poils en Ca et P.

	I	II	III	
Apports alimentaires en Ca et P..	Ca — P —	Ca + P —	Ca + P +	
Nombre d'élevages étudiés.....	5	9	7	
Nombre de vaches.....	57	122	108	
Phosphore des poils (P exprimé en p. 1 000 du poids sec).				
Répartition des valeurs (%).				
> 0,24.....	31,5	42	48	
0,21 — 0,24.....	31,5	29	23	
< 0,21.....	37	29	29	
Valeur moyenne.....	0,214	0,238	0,236	
Coefficient de variation (%).	17	18	16	
Calcium des poils (Ca exprimé en p. 1 000 du poids sec).				
Répartition des valeurs (%).				
≤ 2,35.....	30	48,5	68,5	
> 2,35.....	70	51,5	31,5	
Valeur moyenne.....	2,57	2,41	2,17	
Coefficient de variation (%).	19	20	19	
Différences statistiquement significatives observées entre les moyennes	Ca I — Ca III = 0,40 (Es = 0,07) Ca II — Ca III = 0,24 (Es = 0,05) P III — P I = 0,022 (Es = 0,006) P II — P I = 0,024 (Es = 0,006)			

Ainsi, il apparaît nettement que l'excès calcique alimentaire n'a pas de traduction dans les poils, ni de conséquences pathologiques, dans la

mesure où il est équilibré par un excès phosphorique correspondant. Dans ce type de ration, à la différence du précédent, le calcium en excès par rapport aux besoins ne provoque pas de surcharge calcique des humeurs ; il doit donc, nécessairement, soit être utilisé, grâce à l'apport phosphorique suffisant, soit éliminé, le phosphore intervenant comme facteur efficace de mobilisation et d'élimination du calcium. Cette faible valeur de Ca traduit l'absence de surcharge calcique, endogène ou exogène. On arrive ainsi à la constatation, paradoxale à première vue, qu'un état nutritionnel favorable au point de vue calcique se traduit par de faibles valeurs du Ca des poils, donc de la calcémie. Il va de soi que ceci ne reste vrai que dans les limites physiologiques, et que l'on ne saurait considérer comme normales des hypocalcémies vitulaires, en particulier.

En ce qui concerne l'influence de ce type de ration sur la teneur en P des poils, on note des valeurs moyennes ou fortes ; 5 élevages sur 7 ont un P moyen $>0,23$; 48 p. 100 des valeurs individuelles sont supérieures à 0,24. La différence entre le P moyen de ce groupe d'élevages (0,239) et le P moyen du groupe « Ca-P- » (0,214) est statistiquement significative (tableau XIX).

Il est à remarquer que ce type de ration, que l'on peut considérer comme idéal, conduit néanmoins à des troubles physiologiques (S.F. >2) lorsque le rapport Ca/P atteint ou dépasse 2,4.

VIII. — RELATIONS ENTRE LA TENEUR EN Ca ET P DES POILS, ET LA GESTATION, LA LACTATION, L'ÂGE

1° Évolution de la teneur en Ca et P des poils au cours de la gestation et de la lactation

N'ayant pu, faute d'un nombre d'animaux suffisant, suivre cette évolution sur des mêmes vaches, nous avons comparé les moyennes en Ca et P des poils de vaches différentes, prélevés à divers stades de la gestation et après le vêlage, en l'absence de nouvelle gestation.

Nous avons étudié séparément l'évolution de la teneur en Ca et P des poils dans une population « normale » de 147 vaches, et une population « anormale » de 159 vaches, en utilisant, comme critère de normalité des élevages, la fécondité.

Les vaches normales proviennent d'exploitations de bonne fécondité (S.F.* <2), et où la production laitière est moyenne ou forte ; elles reçoivent pour la plupart, une alimentation suffisante et équilibrée en Ca et P.

Les vaches anormales proviennent d'exploitations à fécondité faible (S.F. >2), à production laitière très variable ; elles reçoivent une alimentation de type « Ca-P- », ou « Ca + P- » (voir pages 193 et 196).

(*) S.F. = nombre moyen de saillies nécessaires par fécondation.

En comparant les courbes obtenues (fig. 13), on observe :

a) que le Ca et P des poils des vaches normales est constamment inférieur à celui des vaches anormales.

b) que le phosphore des poils des vaches anormales présente de fortes oscillations, avec un maximum vers le sixième ou septième mois de gestation, suivi d'un retour au niveau initial vers le deuxième mois après le vêlage, cependant que le phosphore des poils des vaches normales présente des variations beaucoup plus faibles. On note un certain parallélisme pour les deux populations dans l'évolution du P après le vêlage.

FIG. 13.

c) que le calcium de la population anormale évolue de façon cyclique, comme le phosphore, avec un maximum vers 8 mois, suivi de chute avec retour au niveau initial vers le 2^e mois après le part, cependant que le Ca de la population normale présente des fluctuations de moindre amplitude, ne présentant aucun synchronisme avec l'évolution du Ca de la population anormale.

On peut donc considérer qu'il n'y a pratiquement pas de modifications importantes de la teneur en Ca et P des poils, et, par conséquent, de la calcémie et de la phosphatémie, chez les vaches bien alimentées au cours de la lactation et de la gestation, ce qui est en accord avec les observations de divers auteurs (LIÉGEOIS et coll., 1945, MAGNANI, JOHNSON,

HAYDEN), alors que chez les vaches carencées en phosphore, on observe des modifications de la phosphatémie en fonction de la gestation et de la lactation (BECKER, NEAL, et SHEALY).

Les résultats que nous allons exposer ci-dessous démontrent que l'augmentation du calcium des poils, observée au cours de la gestation, et après celle-ci, dans la population anormale, est associée à une réduction de la production laitière.

2° Relation entre la production laitière et la teneur en Ca des poils

Afin de comparer les productions laitières entre elles, nous avons éliminé les premières lactations, dont les productions sont toujours inférieures aux suivantes. Afin de restreindre l'influence du stade de la lactation sur la production laitière et la teneur en Ca des poils, nous avons constitué trois groupes de vaches ;

a) vaches qui, au moment de la prise de poils, étaient au troisième ou quatrième mois de lactation ; pour chaque vache, nous calculons la moyenne des 3 contrôles laitiers mensuels antérieurs, soit moyenne des 3 premiers contrôles dans le premier cas, ou moyenne des deuxième, troisième

TABLEAU XX

Vaches au troisième ou quatrième mois de lactation

Élevage N°	Lait (kg)	Taux butyreux (p. 1000)	Coefficient de persistance (p. 100)	Poils	
				Ca (p. 1000)	P (p. 1000)
1	18,7	27	92	2,04	0,25
"	13,9	31,4	93	2,74	0,23
3	13,4	28	84	1,55	0,24
5	23,9	?	98	2,31	0,25
11	24	31	74	2,16	0,24
13	19,6	37	90	3,14	0,24
"	18,9	38	91	2,14	0,21
15	27,6	32	81	2,72	0,20
"	19,5	40	80	1,52	0,20
"	19,6	37	80	1,50	0,26
19	25,6	28	84	2,38	0,22
21	17,8	36	86	2,32	0,18
"	28	29,3	87	2,02	0,18
"	22,8	32	95	1,76	0,20
"	17,2	16,3	87	1,84	0,26
22	21,1	39,3	92	1,76	0,20
24	20,7	37,6	97	1,68	0,17
"	27,2	30,6	81	3,05	0,23
"	28	31,6	96	2,60	0,28
"	20,6	40,6	95	2,32	0,24
25	27	32,5	100	2,34	0,25
26	21,9	36	78	1,66	0,23
"	14,1	36,6	84	1,90	0,21
"	25,6	33	82	2,28	0,22
"	19,1	33	98	2,18	0,26
Moyennes	21,4	33,2	87	2,07	0,227

et quatrième contrôles dans le deuxième cas. Nous calculons dans les mêmes conditions le T. B. moyen, et le coefficient de persistance de lactation (tableau XX).

b) vaches qui, au moment de la prise de poils, étaient au cinquième, sixième, septième mois de lactation, et pour lesquelles nous avons calculé respectivement, les moyennes des 3^e, 4^e, 5^e contrôles, ou des 4^e-5^e-6^e, ou 5^e-6^e-7^e contrôles, et les moyennes de T. B. et de persistance de lactation correspondantes (tableau XXI).

TABLEAU XXI

Vaches au cinquième, sixième septième mois de lactation.

Élevage N°	Lait (kg)	Taux butyreux (p. 1000)	Coefficient de persistance (p. 100)	Poils	
				Ca (p. 1000)	P (p. 1000)
1	14,7	32	88	3,14	0,29
»	14,8	28	100	2,62	0,29
»	14,8	39	90	1,96	0,206
3	18,4	33	95	2,50	0,168
»	17,2	30	82	2,06	0,206
»	20,6	27	91	1,68	0,278
9	15,1	32	88	2,06	0,246
»	17,1	35	88	2,60	0,234
10	11	41	96	2,94	0,22
13	12,2	34	85	2,80	0,21
»	9,4	33	90	2,14	0,23
»	13,7	33	89	2,38	0,27
»	16,6	33	90	?	?
15	10,2	33	81	2,16	0,308
»	14,5	34	82	1,96	0,172
21	13	38	80	2,08	0,324
»	8,1	36	69	2,80	0,288
»	18	32	96	2,08	0,162
22	16,1	42	85	1,70	0,178
»	23	34	92	1,54	0,244
»	18,9	36	82	2,46	0,236
24	17,2	40	93	2,44	0,328
»	18,7	40	92	2,60	0,278
»	13,2	36	92	2,63	0,26
»	19,4	42	96	2,15	0,282
25	22	40	96	1,52	0,27
»	25,5	42	93	1,98	0,248
»	25,8	41	94	1,64	0,232
»	21,8	37	90	1,96	0,20
»	13,8	42	96	1,96	0,248
»	15	37	96	2,14	0,236
26	9	43	94	1,92	0,166
27	12	43	82	2,98	0,20
Moyennes	15,9	36,3	89	2,25	0,233

c) vaches qui, au moment de la prise de poils, étaient au huitième ou neuvième mois de lactation, pour lesquelles nous avons calculé, respectivement, les moyennes des 6^e-7^e-8^e contrôles, ou 7^e-8^e-9^e contrôles laitiers, et des taux butyreux et des coefficients de persistance de lactation (tableau XXII).

On n'observe aucune relation entre la production laitière et le Ca des

poils pour le premier groupe (fig. 14). Par contre, il existe une corrélation négative significative pour le deuxième groupe, qui est encore plus nette pour le troisième groupe.

TABLEAU XXII
Vaches au huitième, neuvième mois de lactation.

Étable N°	Lait (kg)	Taux butyreux (p. 1000)	Coefficient de persistance (p. 100)	Poils	
				Ca (p. 1000)	P (p. 1000)
I	9,9	40	92	2,74	0,27
»	11,5	40	100	2,56	0,258
3	15,8	32,3	90	2,24	0,276
»	19,5	31,3	90	1,82	0,26
5	7,1	?	52	2,78	0,196
»	7,6	?	73	2,48	0,196
»	11,8	?	70	2,52	0,212
»	9,6	?	82	2,84	0,246
9	14	37,6	89	3,0	0,222
10	8,7	41	90	3,64	0,246
11	11,3	43	93	2,76	0,258
»	11,6	32	89	2,34	0,326
15	9,7	37	84	2,22	0,21
21	5,7	35	52	2,56	0,306
»	10,4	32	73	2,80	0,222
22	15,4	33	87	1,82	0,276
»	19,3	41,6	83	1,94	0,26
»	16	39,6	82	2,02	0,18
»	16,2	37	90	2,0	0,236
»	20,9	36	83	1,54	0,194
»	14,7	33	83	2,04	0,284
»	20,7	45	80	2,18	0,284
»	13,5	42	85	2,28	0,292
26	11,3	47	84	3,0	0,188
»	10,4	47	86	2,62	0,216
»	18	36	85	2,46	0,23
Moyennes	13,6	38	81	2,43	0,241

FIG. 14.

Il paraît donc hors de doute que la surcharge calcique au milieu et vers la fin de la lactation est associée à une diminution de la lactation. La surcharge calcique provient sans doute de l'incapacité à utiliser le Ca exogène ou endogène ; si des facteurs héréditaires (WESTERLUND, HANSSON) influencent très probablement cette faculté d'utilisation du calcium, il est certain que des facteurs alimentaires jouent aussi un grand rôle. Nous n'avons pas observé toutefois de relation entre la production laitière et le taux de phosphore des poils, alors que l'on sait que l'utilisation du Ca est en partie contrôlée par l'apport alimentaire phosphorique ; l'apport vitaminique D joue sans doute un rôle important également, qui échappe à l'analyse. Il en est de même de l'apport protéique. L'apparition d'une corrélation négative a lieu chez des vaches dont les poils ont été prélevés à partir du cinquième mois de lactation ; étant donné le temps de latence avec lequel la composition des poils reflète les variations de composition sanguine, on peut estimer que cette mutation du métabolisme calcique a lieu vers le premier ou deuxième mois de lactation. Ce moment est précisément celui où on admet que le bilan calcique de la vache laitière, initialement négatif en début de lactation, devient ensuite positif.

Les données de la littérature concernant les besoins calciques de la vache laitière sont contradictoires ; quelques unes des raisons de ces divergences ont été examinées dans le travail de MEIGS et coll. Pour un premier groupe d'auteurs (FORBES et coll., ELLENBERGER et coll.) dont les résultats sont basés sur des expériences de bilan calcique, il serait impossible à la vache laitière, même recevant une alimentation riche en calcium, de maintenir un bilan calcique équilibré lorsqu'elle est au maximum de production. Pour un deuxième groupe d'auteurs, (HART et coll., PALMER et coll.) qui ont effectué surtout des dosages de Ca et P de l'os, dont la teneur demeure, dans l'ensemble, remarquablement constante, un bilan positif est parfaitement possible, même avec des apports calciques inférieurs aux besoins et avec de fortes productions laitières. MEIGS et coll. estiment que les méthodes de bilans sont sujettes à caution ; par ailleurs, des différences dans les conditions expérimentales peuvent également expliquer ces divergences. Les travaux publiés ultérieurement (CONVERSE) aux recherches de MEIGS et coll. tendent à confirmer que la lactation n'exige pas une forte ration en calcium, en raison, notamment, du fait que la vache laitière paraît capable d'élever considérablement sa faculté d'assimilation du Ca lors de carence, et dispose, en cas de besoin, d'une ample réserve de Ca squelettique facilement mobilisable.

Toutefois, le problème des besoins calciques de la vache laitière nous paraît être mal posé dans la mesure où le Ca est envisagé isolément, indépendamment des facteurs qui conditionnent son utilisation, parmi lesquels le phosphore paraît être essentiel. Il ne suffit pas que du Ca endogène ou exogène soit présent dans la circulation pour qu'il soit utilisé, et nous

avons vu en particulier que le Ca alimentaire ne paraît être utilisable que lorsque l'apport phosphorique est légèrement supérieur aux besoins théoriques. Par ailleurs, nous avons pu montrer dans notre étude sur la teneur en Ca et P de l'os, que celui-ci était susceptible de s'appauvrir de façon non négligeable en calcium, (jusqu'à —22 p. 100 de la teneur moyenne). Il nous semble donc possible d'admettre qu'il y a des cas où un bilan calcique nettement négatif peut se développer, dans la mesure où le Ca endogène ne peut être efficacement utilisé. Enfin, on sait que le métabolisme calcique de la vache laitière est diphasique, et qu'à une période de bilan négatif, contemporaine du maximum de lactation, succède une période de reconstitution, avec bilan calcique positif (FORBES et coll.). La résultante de ces deux phases, mesurée sur une longue période, sera représentée par l'équilibre calcique. Au contraire, si l'on effectue des mesures de bilan limitées à l'une ou à l'autre de ces deux périodes, le bilan sera soit négatif, soit positif. Dans l'état actuel des connaissances, il ne semble pas possible de dire si la phase initiale de bilan négatif est obligatoire ou non. Le fait qu'il y ait une inversion dans le signe de la corrélation observée par nous entre la teneur en Ca du poil et la lactation, avant le premier ou deuxième mois de lactation et après, semble confirmer que le caractère diphasique du métabolisme calcique au cours de la lactation est assez général. S'il est aisé de comprendre que, lors de carence d'apport calcique, le défaut d'utilisation du calcium endogène puisse entraîner une réduction de la production laitière, le mécanisme par lequel l'excès calcique alimentaire paraît diminuer la production de lait est plus difficile à préciser ; on verra par la suite que la stérilité est observée également lors d'excès alimentaire calcique, associé à la carence phosphorique. Ce type d'alimentation semble donc causer un trouble physiologique assez profond, et nous avons suggéré que l'inhibition parathyroïdienne pourrait être la première conséquence de ce type d'alimentation (voir page 198). On sait en tout cas que l'hypoparathyroïdie diminue, chez la rate, la sécrétion lactée (FOLLEY et coll.)

3° Relations entre le taux butyreux, le coefficient de persistance de lactation, et le Ca et P des poils

Aucune relation n'a pu être mise en évidence entre le taux butyreux, le coefficient de persistance de lactation, et la teneur en Ca et P des poils.

TABLEAU XXIII

Relations entre la teneur en Ca et P des poils et la production laitière

Mois de lactation	Nombre de vaches	Kg de lait	Taux butyreux (p. 1000)	Coefficient de persistance	Poils (p. 1000)		Coefficient de corrélation production laitière-calcium des poils
					Ca	P	
3-4°.....	25	21,4	33,2	87	2,07	0,227	+ 0,39 (non significatif)
5-6-7°.....	33	15,9	36,3	89	2,25	0,233	— 0,51 (significatif)
8-9°.....	26	13,6	38	81	2,43	0,241	— 0,69 (significatif)

4^o Teneur en Ca et P des poils et fièvre vitulaire

a) Le syndrome vitulaire.

L'étude de la teneur en Ca et P des poils de vaches atteintes de fièvre vitulaire présente un intérêt certain du fait que le syndrome vitulaire est essentiellement caractérisé, du point de vue humoral, par une chute importante de la calcémie, associée, en général, à de l'hypophosphatémie, à une teneur en magnésium sérique normale ou élevée dans la forme comateuse, et faible dans la forme tétanique, et à une baisse du potassium sérique.

Le caractère quasi constant de l'hypocalcémie, le succès fréquent de la thérapeutique calcique ont conduit pendant longtemps, depuis les travaux de DRYERRE et GREIG, à considérer le syndrome vitulaire comme étant dû essentiellement à une insuffisance parathyroïdienne primaire. Toutefois, dans cette perspective, l'action thérapeutique très favorable de l'insufflation mammaire n'était pas aisément explicable, d'autant plus que l'insufflation d'air dans le tissu sous-cutané a été signalée comme ayant également une action curative (GREEN). Ceci laissait entrevoir qu'il pouvait y avoir à l'origine du syndrome vitulaire un mécanisme neuro-endocrinien plus complexe que le seul épuisement de la parathyroïde consécutif à une demande accrue en calcium de la part de l'organisme.

Des recherches ultérieures ont montré que la fièvre vitulaire est associée à une hyperactivité du cortex surrénal (d'où le déficit de potassium sérique) et de l'antéhypophyse, et qu'on pouvait ainsi inclure cette affection dans le cadre général du syndrome d'adaptation (SEEKLES, GARM). Que l'hypercorticisme soit primaire ou secondaire, il a été en tout cas constaté que l'injection intra-veineuse de sels de potassium est parfois efficace dans les cas où la thérapeutique calcique et l'insufflation sont impuissantes. Il est certain, par ailleurs, que le moment de la parturition est associé à des modifications profondes de l'équilibre hormonal, qui se traduisent, entre autres, par une chute rapide de la progestérone et une augmentation de la sécrétion des œstrogènes, ce qui peut contribuer à créer un état de crise favorable au développement de troubles endocriniens, et notamment parathyroïdien. Cette conception étiologique explique mieux pourquoi la fièvre vitulaire apparaît au moment du part, et non pas, comme le voudrait la théorie de la demande calcique accrue, au maximum de la sécrétion de lait, c'est-à-dire quelques semaines après le vêlage. Un autre fait, enfin, qui plaide en faveur de cette théorie est que le syndrome vitulaire n'est rencontré, en général, que chez les bonnes laitières, le plus souvent en bon état, chez lesquelles elle a parfois un caractère nettement héréditaire, et jamais sur des vaches carencées profondément du point de vue minéral.

La fièvre vitulaire paraît donc due à un déséquilibre humoral et neuro-endocrinien complexe, et il est vraisemblable que son polymorphisme clinique est dû en partie à la prépondérance de l'une ou l'autre des diverses anomalies humorales observées dans cette affection.

L'étude étiologique de la fièvre vitulaire met l'accent sur la complexité de la régulation du métabolisme phospho-calcique, et laisse entrevoir les interférences pouvant exister à ce sujet entre les apports alimentaires, le cycle reproductif et la constitution neuro-endocrinienne des animaux.

b) Résultats.

Nous avons effectué l'analyse des poils de 24 vaches atteintes de fièvre vitulaire, dont la majorité ont présenté la forme comateuse. Les commémoratifs cliniques dont nous avons pu disposer étaient incomplets ou parfois absents, et nous ignorons s'il n'y a pas eu dans ce matériel des cas de forme tétanique. La composition des poils reflète la moyenne de l'évolution de la calcémie et de la phosphatémie des 3 à 5 derniers mois de la gestation, et ne permet pas de connaître avec précision l'évolution ultime en fin de gestation.

On peut voir à l'examen du tableau XXIV que les valeurs du calcium des poils sont extrêmement variables, allant de 1,04 à 3,36. Par contre, les valeurs du phosphore sont faibles dans leur grande majorité, puisque toutes les valeurs, sauf une, sont inférieures ou au plus égales à la moyenne générale ($m = 0,23$) observée sur 288 vaches non atteintes de fièvre vitulaire (tableau XV, page 192). La moyenne des valeurs du P des poils de vaches atteintes de fièvre vitulaire est de 0,21, soit la même que celle observée chez les vaches recevant une alimentation du type « Ca-P- » (tableau XVI, page 193).

TABLEAU XXIV

Teneur en Ca et P des poils de 24 vaches atteintes de fièvre vitulaire.

Phosphore (p. 1000)	Calcium (p. 1000)	Phosphore (p. 1000)	Calcium (p. 1000)
0,20	1,04	0,21	2,24
0,15	1,46	0,21	2,30
0,19	1,66	0,20	2,34
0,23	1,84	0,23	2,30
0,22	1,90	0,23	2,40
0,20	1,98	0,23	2,52
0,20	1,98	0,23	2,64
0,21	2,00	0,20	2,66
0,23	2,06	0,21	2,68
0,20	2,08	0,21	2,92
0,23	2,08	0,21	3,28
0,24	2,16	0,22	3,36
moy. 0,212	moy. 2,28	moy. 0,212	moy. 2,28

Si l'on compare (tableau XXV) la valeur moyenne du P des poils de vaches atteintes de fièvre vitulaire aux moyennes des vaches au premier mois après le part (fig. 13, page 202), on constate que les vaches atteintes de fièvre vitulaire ont un P moyen inférieur à celui des vaches ne présentant pas cette affection.

TABLEAU XXV

Comparaison entre la teneur en P des poils de vaches atteintes de fièvre vitulaire et de vaches ne présentant pas cette affection.

	7 ^e -9 ^e mois de gestation		1 ^{er} mois après le part		2 ^e -3 ^e mois après le part	
	P moyen	nombre de vaches	P moyen	nombre de vaches	P moyen	nombre de vaches
Vaches à fièvre vitulaire..			0,212	24		
Vaches population normale	0,22	18	0,225	22	0,21	17
Vaches population anormale	0,245	17	0,25	19	0,225	20

Il apparaît donc que la faible valeur du P des poils des vaches atteintes de fièvre vitulaire est assez caractéristique de ce groupe d'animaux. Cette faible valeur est probablement liée à une réaction hyperparathyroïdienne, associée ou non à une carence phosphorique. Il a été démontré en effet, par WARD et coll. que les vaches atteintes de fièvre vitulaire présentaient un bilan calcique négatif avant la parturition, alors que chez les vaches normales ce bilan est positif avant le part, et ne devient négatif qu'après celui-ci. C'est donc la précocité de la réaction hyperparathyroïdienne qui semble caractériser le syndrome vitulaire. Un autre facteur qui peut contribuer à l'augmentation des pertes en phosphore de l'organisme est l'hypersécrétion de la cortico-surrénale, qui entraîne non seulement l'augmentation des pertes en potassium, mais aussi en phosphore (SIMONNET et LE BAR). Ce phénomène est sans doute en rapport avec l'observation de ROBERTSON et coll., qui ont montré que lors d'insuccès de la thérapeutique calcique, et lorsque l'insufflation mammaire est suivie de guérison, on note une brusque élévation du phosphore sérique.

Ces considérations sur le déficit phosphorique qui se manifeste avant et pendant la crise vitulaire sont importantes du point de vue de la prévention de cette affection. BODA et COLE ont pu empêcher l'apparition de la fièvre vitulaire dans un troupeau de vaches jersiaises chroniquement atteint, grâce à la distribution d'un complément phosphoré, la ration ayant un Ca/P de 1/3,3. Selon ces auteurs, la réduction des apports calciques et l'augmentation des apports phosphoriques en fin de gestation aurait pour effet de stimuler les parathyroïdes. Il est possible, en effet, que cette stimulation soit suffisante pour surmonter l'inhibition qui a vraisemblablement lieu de façon plus ou moins physiologique au moment du part. De

toutes façons, la rééquilibration d'un bilan phosphoré négatif a sûrement des effets favorables sur le métabolisme général.

On peut se demander pourquoi les valeurs du calcium des poils de vaches atteintes de fièvre vitulaire sont si variables, alors qu'au cours de la crise vitulaire l'hypocalcémie est une manifestation quasi constante. Il est possible que ces variations de la teneur en Ca soient dues à des différences dans l'aptitude à utiliser le Ca endogène, qui dépend notamment des apports en vitamine D et en phosphore.

5° Influence de l'âge sur la teneur en Ca et P des poils

L'influence de l'âge a été étudiée sur une population de 243 vaches appartenant à 17 élevages (voir page 192). Le paramètre choisi est le numéro d'ordre de la lactation, qui a plus de signification physiologique que l'âge lui-même. Les vaches ont été classées en 6 groupes, le dernier groupe réunissant toutes les vaches ayant de 6 à 10 lactations (tableau XXVI).

TABLEAU XXVI

Influence de l'âge sur la teneur en Ca et P des poils.

Nombre de vaches	Numéro d'ordre de lactation	Ca	P
58.....	1 ^{er}	2,37	0,22
66.....	2 ^e	2,30	0,23
35.....	3 ^e	2,23	0,23
26.....	4 ^e	2,19	0,24
26.....	5 ^e	2,27	0,22
32.....	6 — 10 ^e	2,20	0,23

On peut voir à l'examen du tableau XXVI que les variations de Ca et P des poils en fonction de l'âge sont faibles ; on observe une tendance à un léger abaissement de la teneur en Ca en fonction de l'âge, mais cette variation est faible, si on la compare à celles associées à l'alimentation, la fécondité, le mois de lactation, l'exploitation.

Cette faible influence de l'âge est à priori assez étonnante, car il est généralement admis (HANSARD et coll.) que le métabolisme calcique est profondément modifié en fonction de l'âge ; HANSARD et coll. ont montré que ceci était dû à la fois à une diminution de la faculté d'absorption du Ca alimentaire et à une augmentation des pertes endogènes. En interprétant nos résultats, il faut évidemment tenir compte du fait que l'âge n'est pas le seul facteur en cause, car, par la sélection, sont éliminés les sujets fatigués, malades, inféconds, les mauvaises laitières. Par conséquent, nos résultats permettent de penser que la diminution des possibilités d'utilisation calcique n'est pas une fatalité, dans la mesure où des sujets en 5^e lactation ou plus présentent des valeurs de Ca des poils comparables à celles

abservées pour les lactations antérieures, mais il ne nous est pas possible d'affirmer que ce phénomène est général. L'excès calcique du poil étant un caractère négatif du point de vue de la production laitière, on peut même penser que l'abaissement observé dans la teneur en Ca traduit essentiellement l'influence de la sélection.

IX. — RELATIONS ENTRE LA FÉCONDITÉ ET LA TENEUR EN Ca ET P DES POILS

1^o Relations entre la fécondité moyenne par effectif et la teneur moyenne en Ca et P

Nous avons utilisé pour cette étude les 21 élevages étudiés précédemment (voir page 192). Est considéré comme normalement fécond tout élevage pour lequel le nombre moyen de saillies nécessaires par fécondation a été inférieur à deux dans les six mois précédant la date du prélèvement. Ce nombre moyen de saillies (SF) est calculé uniquement sur des vaches dont les poils ont été prélevés. Par contre, la production laitière indiquée est la moyenne individuelle pour toutes les vaches de l'exploitation, vaches non prélevées comprises, calculée sur l'année antérieure.

Bien que le nombre d'exploitations étudiées soit faible, on peut voir néanmoins (tableau XXVII) que c'est le type de ration « Ca + P + » qui donne la proportion la plus élevée d'étables fécondes, soit 4/7, alors que cette proportion n'est que de 1/5 pour le type de ration « Ca — P — », et de 2/9 pour le type de ration « Ca + P — ». La haute fécondité est en général associée à une forte production laitière, ce qui confirme qu'il n'y a pas d'antagonisme entre la lactation et la fécondité, dans la mesure où l'alimentation est convenable.

Le fait le plus caractéristique est que tous les élevages féconds présentent, quel que soit le type d'alimentation donnée, une valeur de Ca des poils faible, variant de 1,97 à 2,33 p. 1000, la moyenne étant de 2,07. Par contre, toutes les étables infécondes, sauf une (n^o 2), ont des valeurs de Ca des poils supérieures à 2,33, la moyenne pour le groupe d'élevages subféconds étant de 2,55 p. 1000. Il apparaît donc que la surcharge calcique des poils, exogène ou endogène, est indiscutablement associée à la subfécondité.

En ce qui concerne les valeurs du phosphore, celles-ci ont tendance à être plus élevées dans la catégorie des étables subfécondes que dans la catégorie des étables fécondes.

2^o Relations entre la fécondité individuelle et la teneur en Ca et P

Pour cette étude, nous avons sélectionné parmi les 278 vaches appartenant aux 21 élevages étudiés (voir page 192) un groupe de 54 vaches fécondes et un groupe de 53 vaches subfécondes.

Sont considérées comme fécondes les vaches qui, lors du prélèvement de poils, sont supposées pleines de 4 mois ou moins, et dont la fécondation n'a nécessité qu'une ou deux saillies.

Sont considérées comme subfécondes les vaches qui, lors du prélèvement appartiennent à l'une des catégories suivantes :

1° Vaches ayant été saillies trois fois ou plus, sans être fécondées.

2° Vaches n'étant pas revenues en chaleurs 6 mois ou plus après le vêlage.

TABLEAU XXVII

Relation entre la teneur moyenne en Ca et P des poils par exploitation et la fécondité moyenne

Type de ration (1)	Élevage N°	Ca/P = (2)	P moyen (3)	Ca moyen (3)	SF (4)	Production laitière moyenne (5)
<i>Élevages féconds</i>						
Ca — P — ..	14	100/37 = 2,7	0,20	2,06	1,9	? (faible)
Ca + P — ..	19	159/55 = 2,8	0,21	2,33	1,4	4 300
	20	199/67 = 2,9	0,22	2,02	1,7	4 400
Ca + P + ..	3	137/114 = 1,2	0,22	1,91	1,7	4 300
	9	222/97 = 2,2	0,24	2,24	1,6	5 200
	22	242/101 = 2,4	0,23	1,98	1,5	7 200
	25*	?	0,24	1,97	1,1	5 600
<i>Élevages subféconds</i>						
Ca — P — ...	17	75/34 = 2,2	0,21	2,50	2,2	3 600
	18	88/24 = 3,6	0,22	2,90	2,0	?
	23	95/27 = 3,5	0,23	2,41	2,5	3 200
	10	64/45 = 1,4	0,21	2,91	6,0	3 800
Ca + P — ...	16	186/50 = 2,5	0,28	2,38	4,0	3 500
	2	130/33 = 3,9	0,20	2,31	2,2	4 100
	13	174/37 = 4,7	0,26	2,44	2,0	4 500
	21	161/68 = 2,3	0,26	2,41	2,0	5 800
	6	225/69 = 3,2	0,21	2,49	2,0	4 100
	8	213/66 = 3,2	0,25	3,17	3,6	4 300
	1	301/72 = 4,1	0,24	2,55	2,3	4 000
Ca + P + ...	11	149/107 = 1,4	0,25	2,38	2,1	4 500
	5	740/245 = 3,0	0,23	2,50	3,1	4 900
	24	218/90 = 2,4	0,26	2,38	2,5	5 000
Moyennes élevages féconds (7 élevages, 100 vaches)			0,22	2,07	1,55	5 140
Moyennes élevages subfécond (14 élevages, 178 vaches)			0,236	2,15	2,75	4 170

(1) Ca — P — = Ration carencée en Ca et P.

Ca + P — = Ration carencée en P, trop riche en Ca.

Ca + P + = Ration riche en Ca et P.

(2) Apports alimentaires (en grammes) de Ca et P et rapport Ca/P (*). En ce qui concerne l'élevage n° 25, l'apport est de 110/51 = 2,1. Les animaux consomment de plus des pierres à lécher contenant Ca et P.

(3) Moyenne des dosages effectués sur les vaches de chaque exploitation.

(4) Nombre moyen de saillies nécessaires par fécondation dans les 6 mois précédant la date du prélèvement, uniquement vaches prélevées.

(5) Calculée pour l'année précédente sur toutes les vaches de l'exploitation, non prélevées comprises.

3^o Vaches supposées pleines de trois mois ou moins, mais dont la fécondation a nécessité au moins trois saillies.

L'infécondité affectant ces vaches n'était pas liée à une inflammation cliniquement décelable du tractus génital ou à une affection spécifique génitale diagnostiquée. La seule manifestation de cette infécondité était, dans une minorité des cas, l'anoestrus, et, dans la plupart des autres cas, la non fécondation répétée, avec retours en chaleurs à intervalles plus ou

FIG. 15. — Répartition des valeurs du Ca des poils de vaches subfécondes et fécondes.

moins réguliers. Toutes les vaches ont été soumises à la saillie naturelle. Il n'a pas été possible d'apprécier la fécondité des taureaux utilisés ; aucun de ceux-ci ne paraît toutefois avoir été atteint de subfécondité importante, car, dans toutes les exploitations étudiées, une fraction plus ou moins importante des vaches a été fécondée de façon régulière au cours d'une période de 6 mois précédant les prélèvements.

Le prélèvement des poils effectué dans les conditions que nous avons précisées, représente une période nutritionnelle s'étageant approximativement du 4^e ou 5^e mois antérieur au prélèvement jusqu'au moment de

celui-ci, soit sur une période sensiblement contemporaine de la fécondation normale ou du début des troubles de fécondité.

On peut voir à l'examen des figures 15 et 16 que les vaches subfécondes présentent, dans l'ensemble, des valeurs de Ca et P plus élevées que les vaches fécondes. Les différences entre les moyennes de Ca et P des deux populations sont statistiquement significatives.

Moyenne Ca vaches fécondes.....	2,14
Moyenne Ca vaches infécondes.....	2,52
Différence.....	0,38 (Es = 0,08)
Moyenne P vaches fécondes.....	0,21
Moyenne P vaches infécondes.....	0,24
Différence.....	0,03 (Es = 0,007)

FIG. 16. — Répartition des valeurs du P des poils de vaches subfécondes et fécondes.

On observe, à l'examen de la figure 17, que la différence essentielle entre la population de vaches fécondes et la population de vaches infécondes réside dans les valeurs de la catégorie de vaches à surcharge calcique et phosphorique du poil, qui sont de 5,5 p. 100 pour les vaches fécondes, et de 40,5 p. 100 pour les vaches infécondes, le pourcentage des autres catégories demeurant pratiquement inchangé (tableau XXVIII).

TABLEAU XXVIII
*Différences dans la teneur en Ca et P
 des poils de vaches fécondes et infécondes.*

Composition des poils	Fécondes Nombre %		Infécondes Nombre %		Différence de %
Surcharge phosphorique.....	9	16,5	8	15,4	— 1,1
Surcharge phosphorique et calcique ..	3	5,5	21	40,5	+ 35
Surcharge calcique	15	28	17	32,6	+ 4,6
Absence de surcharge.....	27	50	6	11,5	— 38,5

On a vu antérieurement (voir pages 198) que la surcharge calque et phosphorique des poils traduit soit une alimentation riche en Ca et

FIG. 17. — Association entre la surcharge calcique et phosphorique des poils et la subfécondité.

pauvre en P (« Ca + P — »), soit la carence phosphorique conditionnée (« Ca + + + + P + »). Ainsi, dans la population étudiée, ces deux types d'alimentation peuvent être considérés comme étant les principales causes d'infécondité.

Le rôle des carences phosphorique et calcique associées, qui, sur le plan de la fécondité moyenne de l'effectif (tableau XXVI), exerce un effet nettement négatif, ne ressort pas de l'étude sur le plan individuel. On a vu (voir page 195) que ce type d'alimentation tend à modifier la composition des poils dans le sens « Ca + P — ». L'augmentation du pourcentage de cette catégorie dans la population de vaches subfécondes (fig. 17, catégorie « Surcharge Calcique ») n'est que de 4,6 p. 100 (tableau XXVII) et donc sans signification.

Cette divergence dans les résultats des études de la fécondité sur le plan des effectifs et sur le plan individuel tient probablement au fait que dans l'échantillonnage de vaches subfécondes, les sujets issus d'exploitations à type d'alimentation « Ca — P + » ne sont qu'au nombre de 16 sur 54, soit 29,5 p. 100, alors que les vaches issues d'exploitations à type d'alimentation de type « Ca + P — » sont au nombre de 28, soit 54 p. 100.

Il apparaît enfin (fig. 16) que lorsque le calcium est inférieur à la moyenne, la fécondité est normale, que le phosphore soit faible ou élevé.

En définitive, c'est donc la valeur élevée du calcium des poils, donc de la calcémie, qui détermine la signification pathologique des valeurs faibles ou fortes du phosphore des poils, donc de la phosphatémie.

3° Relations entre nutrition phospho-calcique et fécondité

Les données de la littérature sur les relations entre la nutrition phosphocalcique et la fécondité chez la vache sont assez contradictoires. Si l'enrichissement en phosphore des rations qui sont pauvres en cet élément est très généralement reconnu comme favorable à la fécondité (THEILER et GREEN, DU TOIT et BISSCHOP, HART et GUILBERT, WHEELER, KORKMANN, SHEEHY et coll., WILSON, HIGNETT, LESBOUYRIÈS et CHARTON, ROGNONI), il n'y a, par contre, aucune unanimité en ce qui concerne les relations entre l'infécondité et les valeurs de la phosphatémie. Pour THEILER, ECKLES et coll., les troubles de la fécondité sont synchrones d'un abaissement de la phosphatémie (pour THEILER, il y a arrêt du cycle, pour ECKLES et coll., il y a permanence du cycle, mais difficultés de fécondation). Selon LONG et coll., WATKINS et KNOX, une fécondité normale est compatible avec une phosphatémie faible. Pour HIGNETT, O'MOORE, lors de la carence conditionnée en phosphore l'infécondité est associée à une phosphatémie normale. En ce qui concerne le calcium, il n'y a pas, selon ECKLES et coll., de relation entre la carence alimentaire calcique et la fécondité, alors que RUSHOFF est d'un avis opposé. Selon WEBSTER, il existe une corrélation positive significative entre la fécondité et les apports calciques alimentaires ; toutefois, selon cet auteur, la corrélation est encore plus nette avec l'apport phosphorique et surtout le rapport $\frac{P}{Ca}$. Selon HIGNETT, une des causes principales d'infécondité est

l'excès alimentaire calcique, qui provoque une carence phosphorique « conditionnée ».

Nos résultats paraissent confirmer l'opinion de HIGNETT selon qui la carence conditionnée, ou la carence phosphorique associée à l'excès calcique, sont des causes très fréquentes d'infécondité, ne se manifestant pas par de l'hypophosphatémie. Il semble même qu'on puisse affirmer qu'il y ait dans ces cas tendance à l'hyperphosphatémie associée à l'hypercalcémie.

Il nous semble logique d'admettre, ainsi que nous l'avons suggéré (voir page 198) que la composition des poils de type « Ca + P + » reflète un état d'hypoparathyroïdisme, dont l'infécondité serait un des symptômes.

Nos résultats sont également en accord avec ceux des auteurs qui ont observé que l'hypophosphatémie était associée à l'infécondité, mais ceci uniquement dans la mesure où cette hypophosphatémie est accompagnée par l'hypercalcémie, c'est-à-dire lorsqu'elle est causée par une alimentation de type « Ca — P — ». Nos résultats semblent indiquer que des phosphatémies faibles, associées à des calcémies normales ou faibles, ne sont pas associées à l'infécondité. Ainsi, les contradictions apparentes entre les divers auteurs quant à l'existence ou non d'hypophosphatémie lors d'infécondité paraissent pouvoir être levées dans la mesure où l'on prend en considération les valeurs de la calcémie, et où l'on accorde une signification pathologique à l'hypercalcémie.

Le schéma ci-dessous résume l'essentiel de cette discussion.

Alimentation	Poils	Fécondité	Production laitière
Ca — P —	Ca + P —	—	—
Ca + P — ou Ca +++++ P +....	Ca + P +	—	—
Ca + P + Équilibrés	Ca — P —	+	+

Nous n'ignorons pas qu'en limitant la discussion à la seule influence de Ca et P nous simplifions le problème à l'excès. Il est évident que les variations dans les apports alimentaires en Ca et P, leur traduction dans les poils, et, par conséquent, les modifications correspondantes de la calcémie et de la phosphatémie, traduisent, en fait, des modifications du métabolisme général impliquant les aliments énergétiques, protéiques, les oligo-éléments, les vitamines A et D, etc. Néanmoins, cette simplification arbitraire ne nous semble pas avoir de conséquences du point de vue pratique, notamment en ce qui concerne le diagnostic, la prophylaxie ou la thérapeutique de l'infécondité d'origine phospho-calcique.

La correction de la composition des rations du point de vue phospho-calcique, notamment l'enrichissement en phosphore, entraîne en général, une meilleure répartition des éléments énergétiques et protéiques. En ce

qui concerne le phosphore, on est fondé à assigner à ce seul élément un rôle spécifique sur la fécondité, puisque l'apport d'un condiment minéral riche en P, ou même d'acide phosphorique, la ration restant par ailleurs inchangée, a fréquemment une action très favorable sur la fécondité.

Les mécanismes par lesquels les déséquilibres et carences phosphocalciques agissent sur la fécondité restent obscurs. Il est vraisemblable que l'antéhypophyse et le système neuro-végétatif sont intéressés en premier lieu par les anomalies de composition sanguine et les troubles glandulaires (parathyroïdes notamment) découlant des anomalies de la nutrition phosphocalcique.

X. — RECHERCHE DE NORMES DE LA TENEUR EN Ca ET P DES POILS ET D'ALIMENTATION EN Ca ET P

En utilisant comme critère de normalité d'un élevage un nombre moyen de saillies par fécondation (SF) inférieur à 2, et une production laitière satisfaisante ou bonne, on observe que pour les élevages répondant à ces normes, les valeurs de P varient de 0,20 à 0,24, et les valeurs de Ca de 1,97 à 2,33 (tableau XXIV). Si l'on considère à priori comme anormal tout élevage où le Ca ou le P sont en dehors de ces valeurs, sur 14 élevages anormaux (tableau XXIV), un seul (n° 2) présente des valeurs tombant à l'intérieur de ces normes. La limite normale inférieure de 0,20 paraît d'ailleurs un peu faible ; le seul élevage normal présentant cette valeur a un SF moyen de 1,9, donc déjà élevé. Il semble ainsi qu'on puisse proposer comme valeurs normales $P = 0,21 - 0,24$, et $Ca \leq 2,35$. Les valeurs faibles de P, soit $< 0,21$, correspondent à la carence phosphorique associée à la carence calcique ; les valeurs élevées de P, $> 0,24$, correspondent à la carence P associée à l'excès calcique. Les valeurs de $Ca > 2,35$, correspondent à la surcharge calcique endogène ou exogène. On arrive ainsi au schéma général suivant :

Alimentation	Poils
Ca — P —.....	Ca + ($> 2,35$) P — ($< 0,21$)
Ca + P —.....	Ca + ($> 2,35$) P + ($> 0,24$)
Ca + P + Équilibrés	Ca — ($< 2,35$) P moy. 0,21 — 0,24

La différenciation entre les trois types de ration en fonction des résultats de l'analyse des poils paraît possible, et doit permettre de remonter à l'origine du trouble nutritionnel. Il est évident qu'une connaissance même sommaire de la ration est nécessaire afin d'étayer un diagnostic basé uniquement sur les résultats des analyses de poils. Inversement, il paraît possible, grâce à l'analyse des poils, de vérifier les effets d'une alimentation minérale théoriquement correcte.

Comme nous l'avons déjà souligné, on ne peut pas, en étudiant un effectif, raisonner uniquement sur la moyenne, et il est nécessaire d'étudier la répartition des valeurs individuelles ; dans un même élevage, en fonction des individus et du rationnement, il est fréquent de trouver des teneurs en Ca et P correspondant à des types d'alimentation différents. Par exemple, il est encore très fréquent que les vaches tarées et en fin de gestation reçoivent presque uniquement une ration d'entretien de type « Ca + P — », ce qui donnera une composition des poils de type « Ca + P + », alors que les vaches en lactation, suffisamment alimentées (ration « Ca + P + »), pourront avoir des poils de composition « Ca — P moyen ». Il est évident aussi que la composition en Ca et P des poils de tous les animaux ne rentre pas dans le schéma général proposé, mais ce sont des cas d'exception.

Nous n'avons pu étudier l'influence d'un type d'alimentation que nous n'avons pas rencontré dans notre étude, mais que théoriquement on pourrait observer, le type « Ca — P + ». Tout permet de penser que, dans ce cas, l'insuffisance de l'apport calcique associée à un rapport Ca/P très faible doit entraîner une réaction hyperparathyroïdienne.

En ce qui concerne le type d'alimentation minérale à rechercher, si des résultats satisfaisants paraissent pouvoir être obtenus avec des rations de type « Ca + P — », ou « Ca — P — », et ceci sans doute grâce à l'action correctrice de la vitamine D, il paraît hors de doute que c'est l'alimentation de type « Ca + P + » qui donne les meilleurs résultats. Ayant calculé pour des vaches de 700 kg, donnant 20 litres de lait, des besoins de Ca = 115 g et P = 81 g, il semble ainsi qu'on doive rechercher des apports approximatifs légèrement supérieurs à ces normes. Il semble que si l'apport vitaminique D, en hiver, est suffisant (8 à 10 kg de foin bien ensoleillé), ou si les possibilités de synthèse sont assurées, de tels apports puissent être diminués de façon assez notable. En ce qui concerne le rapport Ca/P optimum à rechercher, nous ne pouvons formuler aucune conclusion certaine ; en tenant compte du fait que les rapports calculés dans notre étude sont approximatifs, des résultats favorables paraissent pouvoir être obtenus avec un Ca/P variant de 1,2 à 2,9. Il semble toutefois que les meilleures productions laitières et une bonne fécondité sont obtenues avec des rapports Ca/P d'environ 2,1 à 2,4.

Confrontation entre les prévisions découlant du calcul des rations et les analyses de poils

Nous avons vu précédemment que, sur 5 cas de carence alimentaire « Ca — P — » calculés, 4 sont confirmés par des troubles physiologiques, le 5^e étant à la limite de la normale. La correspondance est donc satisfaisante.

Sur 9 cas de rations de type « Ca + P — » calculés, deux sont exempts de troubles physiologiques, et ont des compositions normales selon les critères proposés en Ca et P des poils.

Sur 7 cas de rations de type « Ca + P + » calculés, un cas est nettement anormal au point de vue des apports (n° 5, tableau XXVII) et présente des troubles physiologiques importants. Pour les 6 autres cas, où il est difficile d'apprécier par le calcul quel peut être l'effet favorable ou défavorable du point de vue physiologique, deux sont anormaux, et quatre sont normaux, sans que l'on puisse expliquer pourquoi des rations identiques entraînent des conséquences physiologiques différentes.

Au total, sur 15 cas où le calcul prévoit une anomalie de la nutrition phospho-calcique, on observe dans 12 cas une fécondité diminuée, témoin d'un trouble physiologique. Sur 6 cas où les apports alimentaires sont théoriquement satisfaisants, dans 2 cas on observe des troubles de la fécondité. Ceci indique donc que le calcul des besoins et des apports alimentaires, basé sur les normes utilisées, a une certaine valeur dans le dépistage et la prévention des troubles de la nutrition phospho-calcique.

XI. — DISCUSSION GÉNÉRALE

1° Valeur de l'exploration de la nutrition phospho-calcique au moyen du dosage de Ca et P dans les poils.

Critique des méthodes employées

Les techniques utilisées dans le dosage de Ca et P des poils sont classiques, ne nécessitent pas un appareillage spécifique coûteux, et sont, par conséquent, à la portée de laboratoires effectuant des recherches chimiques courantes, notamment l'analyse des sols et des aliments du bétail. L'ensemble des opérations, compte tenu du temps nécessaire à la dessiccation et à la minéralisation, dure trois jours. En effectuant la minéralisation au cours de la nuit, avec un four pouvant contenir une quinzaine d'échantillons, une personne peut effectuer une quinzaine de dosages par jour.

L'échantillonnage des poils sur chaque individu ne présente aucune difficulté ; il suffit que le prélèvement soit effectué au ras de la peau, et sur toute la surface du toupet.

Étant donné la grande influence de la couleur des poils sur la teneur en Ca et P, il est évident que l'on doit s'adresser, pour chaque race, à des poils de même couleur, et que les individus dont la pigmentation du toupet est atypique ne peuvent être examinés.

D'autre part, il est nécessaire de définir, pour chaque race, les valeurs normales et anormales du Ca et P des poils, ce qui nécessite une étude

analogue à celle effectuée par nous pour la race hollandaise. Nous effectuons actuellement de telles recherches en ce qui concerne les races Normande, Flamande, Pie rouge de l'Est et Charollaise.

L'échantillonnage des individus d'une exploitation doit naturellement tenir compte de l'importance de l'effectif et intéresser les diverses catégories d'animaux : génisses au premier veau, vaches adultes, gestantes et non gestantes, en lactation ou tarées, fécondes ou infécondes, etc. Nous préconisons de prélever la totalité des vaches pour les effectifs inférieurs à 10 femelles, et une quinzaine de vaches pour les grands effectifs.

Il ne nous échappe pas que le résultat fondamental sur lequel repose ce travail, à savoir la correspondance entre les variations de la calcémie et de la phosphatémie et celles de la teneur en Ca et P des poils n'est fondé que sur une base expérimentale réduite, puisque nous n'avons pu malheureusement disposer que de deux animaux pour cette expérience. On peut donc nous objecter que la correspondance démontrée n'existe peut-être que dans les conditions particulières de notre expérience. Toutefois, l'existence des diverses corrélations obtenues entre la teneur en Ca et P des poils et *a*) diverses caractéristiques de l'os, *b*) les apports alimentaires, *c*) la gestation, *d*) la lactation, *e*) la fécondité, avec un nombre assez important d'animaux, provenant d'élevages de caractéristiques très différentes, plaide en faveur de la valeur très générale d'une telle correspondance. En effet, si les teneurs en Ca et P du sang et des poils n'étaient pas liées par une relation constante, relativement indépendante des individus et des conditions de milieu, de telles corrélations ne pourraient pas exister. Le facteur essentiel qui a permis la mise en évidence d'une telle relation réside dans le choix de poils qui ne muent pas selon un rythme saisonnier, et il nous semble qu'il y aurait intérêt, dans l'avenir, à n'utiliser que les poils du toupet pour des explorations métaboliques analogues, notamment en ce qui concerne les oligo-éléments, que les auteurs hollandais étudient à partir de poils du flanc (KOETSVOLD).

La signification d'un premier prélèvement de poils effectué sur une vache dont les poils n'ont pas été coupés récemment varie en fonction de la vitesse de croissance des poils ; la durée de la période nutritionnelle représentée par les poils prélevés pourra donc être très variable, et ceci limite évidemment dans une certaine mesure la signification d'un tel prélèvement. Aussi, si on veut connaître de façon plus rigoureuse l'évolution de la nutrition phospho-calcique d'un individu, il convient d'effectuer des prélèvements de poils à intervalles réguliers, afin de connaître exactement la période nutritionnelle représentée par les poils prélevés.

Il n'en demeure pas moins que, même lorsqu'on ignore la durée de croissance exacte de l'échantillon à examiner, on dispose avec le poil de la possibilité d'avoir un bilan moyen extrêmement précieux de l'évolution de la calcémie et de la phosphatémie au cours des mois précédant le

moment du prélèvement. Si celui-ci est effectué, comme ce sera le cas le plus fréquent, en vue de rechercher la cause des troubles de fécondité, d'insuffisance de lactation etc., on aura le plus souvent une idée assez exacte de la calcémie et de la phosphatémie moyenne au cours des mois précédant l'apparition des troubles physiologiques, lesquels ne sont que la traduction différée d'un trouble métabolique antérieur et durable. Il est en tout cas remarquable qu'en dépit de variations vraisemblables dans le rythme de croissance des poils dans les divers élevages et chez les divers animaux examinés par nous, nous avons pu mettre en évidence diverses corrélations entre la teneur en Ca et P des poils et l'alimentation, la fécondité, ou la lactation, ce qui tend à montrer que le facteur vitesse de croissance des poils est d'une importance secondaire.

Les relations mises en évidence entre les apports alimentaires et la teneur en Ca et P des poils, relations qui nous ont fourni les critères d'interprétation essentiels pour expliquer les phénomènes observés au cours de la gestation, de la lactation, et des troubles de la fécondité, peuvent être sujettes à critique. En effet, les apports alimentaires ont été calculés, dans la plupart des cas, à partir des tables alimentaires, dont les données moyennes peuvent s'écarter notablement des valeurs réelles. Il est certain, en particulier, que, dans le cas d'apports alimentaires s'écartant peu des besoins théoriques, la classification d'un élevage dans un type de ration ou un autre risque d'être assez arbitraire. Ceci explique sans doute pourquoi l'homogénéité des valeurs de Ca et P des poils au sein de chacun des trois groupes de rations envisagés n'est pas rigoureuse. Toutefois, cette objection nous paraît moins valable dans le cas des apports alimentaires s'écartant nettement des besoins théoriques, et, s'il est évident qu'on ne peut accorder de signification absolue aux valeurs des apports alimentaires ainsi calculés, celles-ci permettent néanmoins d'indiquer avec un degré suffisant de certitude la tendance du déséquilibre ou de la carence. Dans chacun des trois types de ration envisagés, les élevages dont les apports sont nettement différents des besoins théoriques sont suffisamment nombreux pour que l'on puisse estimer que la majorité des vaches reçoit effectivement une ration du type indiqué.

Le fait que certaines différences entre les valeurs moyennes de Ca et P des poils des groupes d'élevages « Ca — P — », « Ca + P — », et « Ca + P + » sont statistiquement significatives, plaide en faveur de différences réelles existant dans l'alimentation phospho-calcique de ces divers groupes d'élevages.

Nous avons signalé que les normes des besoins théoriques en Ca et P que nous utilisons étaient notablement supérieures à la plupart des normes étrangères ; cette différence est due surtout à l'estimation des besoins de production qui sont calculés sur la base d'un coefficient d'utilisation du Ca et P alimentaires de 30 p. 100, et en fonction de la teneur du

lait en Ca et P (1,2 g et 0,9 par litre respectivement). Par conséquent, toutes les rations jugées déficientes selon les normes étrangères le sont également en fonction des normes que nous utilisons. Par contre, nombre de rations jugées suffisantes selon les normes étrangères ne le seront pas suivant les nôtres, puisque pour une vache de 700 kg, donnant 20 litres de lait, les besoins en Ca sont supérieurs, suivant les cas, de 40 à 60 g, et en P, de 32 à 36 g.

Les besoins calculés suivant les normes que nous utilisons peuvent paraître surestimés. En fait, on a vu (voir page 199) que c'est dans la catégorie alimentaire « Ca + P + », pour laquelle les apports sont supérieurs à ces normes, qu'on trouve la proportion la plus élevée d'étables de haute fécondité et à forte production laitière, ce qui justifie l'emploi de telles normes, tout au moins pour des vaches de race Hollandaise en stabulation hivernale pour lesquelles les apports ou possibilités de synthèse en vitamine D sont réduits.

2^o Interprétation des résultats

L'hypothèse de base qui domine l'interprétation de tous nos résultats est que l'hormone parathyroïdienne contrôle directement ou indirectement le métabolisme phospho-calcique, et que l'activité de cette glande est principalement conditionnée par l'apport alimentaire calcique.

Nous ne pouvons fournir la preuve de cette hypothèse qui nécessiterait le dosage de la parathormone et l'examen histologique des parathyroïdes sur un grand nombre de vaches ; l'injection de parathormone pourrait peut-être fournir certaines informations. Il a été démontré en tout cas par de nombreux auteurs (voir pages 192 à 198), que les choses se passent bien ainsi dans diverses espèces animales autres que les bovins. La bibliographie sur ce sujet est abondante, et son analyse nécessiterait un grand développement. Nous rappellerons simplement qu'il paraît démontré à l'heure actuelle que l'insuffisance d'apport calcique ou de vitamine D stimule l'activité parathyroïdienne, alors que l'excès alimentaire calcique provoque l'effet inverse. L'hyperparathyroïdisme se manifeste par l'accroissement de l'ostéolyse et par l'abaissement du seuil d'élimination rénale des phosphates, entraînant l'hyperphosphaturie et l'hypophosphatémie. L'hypoparathyroïdisme entraîne les effets opposés.

Cette action des parathyroïdes permet d'expliquer de façon satisfaisante les phénomènes d'inversion dans la traduction sanguine de la carence alimentaire phosphorique en fonction de l'apport alimentaire calcique ; ce phénomène d'inversion n'a été qu'entrevu jusqu'à présent (HIGNETT), et aucune explication n'en avait été recherchée. On peut penser qu'étant donné la rétention du phosphore observée dans le cas des rations de type « Ca + P — », la carence alimentaire phosphorique, telle

qu'elle est déduite de la confrontation des besoins théoriques et des apports, n'existe pas, et que les troubles de la fécondité ou de la production laitière observés avec ce type de ration proviennent plutôt de l'inhibition parathyroïdienne et des déséquilibres hypophysaires qui peuvent en résulter. Il est à noter, en tout cas, que le pica n'a été observé qu'avec le type de ration « Ca — P — », où l'animal perd son phosphore du fait de la réaction hyperparathyroïdienne.

Un autre fait qui paraît avoir été ignoré, ou tout au moins sous estimé, dans le passé, est la fréquence de la surcharge calcique endogène des tissus mous, et donc de l'hypercalcémie, accompagnant les phénomènes de compensation calcique lors de carence alimentaire en calcium. Il est curieux de constater qu'on ne s'est attaché dans le passé qu'à étudier surtout les variations infra-normales de la calcémie et que l'on a négligé la signification pathologique que peuvent avoir les hypercalcémies juxtaphysiologiques.

De même, il ne semble pas que l'on ait suffisamment accordé d'attention à la possibilité d'une surcharge calcique des tissus d'origine alimentaire. Bien que cette surcharge n'ait pas été observée par divers expérimentateurs, il semble que, dans nos conditions, et en présence d'un fort excès calcique, cette surcharge puisse effectivement avoir lieu.

Le caractère « endogène » ou « exogène » des surcharges calciques observées, bien que vraisemblable, n'est cependant pas démontré, car il résulte seulement du fait que les apports calciques sont déficitaires dans le 1^{er} cas, et excédentaires dans le second. Une preuve décisive de l'origine différente de ces surcharges pourrait sans doute être obtenue par l'emploi des radio-éléments. Toutefois la distribution en grandes quantités de fourrages riches en Ca marqué, tels que les foin de légumineuses par exemple, qui sont à l'origine de la plupart des cas de surcharge calcique observés, se heurte à des difficultés pratiques insurmontables ; il n'est pas sûr que la distribution d'un excès de Ca marqué, sous une forme non biologique (complément minéral), soit favorable à la mise en évidence du phénomène. Quoi qu'il en soit, il reste là un problème à résoudre.

La différenciation de l'origine endogène ou exogène de la surcharge calcique des poils peut être facilitée par l'étude de la ration hivernale, pour les prélèvements effectués au cours de l'hiver, et par les valeurs du phosphore des poils, qui sont faibles dans le cas de carence alimentaire calcique, et fortes dans le cas d'apport calcique excédentaire.

Le fait que la surcharge calcique du poil peut être endogène est démontré par l'étude effectuée sur les animaux d'abattoirs, qui montre que l'accroissement de l'indice de mutation calcique, qu'on peut valablement considérer comme reflétant le processus d'ostéolyse, est accompagné d'une surcharge calcique des poils. Mais on devrait pouvoir observer aussi, dans ce matériel, des cas de surcharge calcique exogène associée à un

indice de mutation calcique faible. Or, de tels cas n'ont pas été observés. Il faut donc admettre, soit que le matériel d'abattoir étudié ne comportait pas de vache ayant reçu une alimentation de type « Ca + P — », susceptible de provoquer une surcharge calcique exogène des poils avec inhibition parathyroïdienne, soit que ce type de ration suscite lui aussi une réaction hyperparathyroïdienne, ce qui est peu vraisemblable. Il y a toutefois là un problème qui reste à résoudre.

Tant que l'on ne disposera pas d'une méthode autre que la méthode biologique pour doser avec certitude la vitamine D, il sera pratiquement impossible de mesurer sur une large échelle la richesse en vitamine D des fourrages et le niveau d'absorption ou de synthèse de cette vitamine par les animaux. Nous en sommes donc réduits à ne formuler que des hypothèses quant à l'incidence qu'a pu avoir la vitamine D sur nos résultats. Il semble que dans certains cas une insolation hivernale importante ou l'apport de foin de pré bien ensoleillé en quantités suffisantes ont pu corriger une alimentation phosphorique insuffisante ou déséquilibrée.

Inversement, la réduction des apports ou des possibilités de synthèse en vitamine D, peut, peut-être, expliquer pourquoi des rations théoriquement correctes du point de vue minéral sont néanmoins à l'origine de troubles physiologiques et d'une teneur anormale des poils en Ca et P.

L'étude des relations entre les apports alimentaires et la lactation et la fécondité met en lumière le rôle négatif de la surcharge calcique endogène ou exogène sur ces deux fonctions, et les conséquences probables que les anomalies de fonctionnement des parathyroïdes entraînent au niveau de l'antéhypophyse. Inversement, il est vraisemblable que l'hypophyse, et éventuellement le cortex surrénal, agissent à leur tour de façon primaire sur le fonctionnement parathyroïdien, ce qui paraît découler de l'étiopathogénie de la fièvre vitulaire.

Aussi, on peut se demander si les anomalies du métabolisme phosphocalcique et leurs conséquences sur la production laitière, la fécondité etc. ont un déterminisme uniquement alimentaire, ou bien si ces troubles nutritionnels ne sont pas en partie conditionnés, ou tout au moins facilités, par la constitution héréditaire, par ce qu'on a pu appeler un tempérament neuro-endocrinien « labile » (GREEN), facilement influençable par des anomalies des apports alimentaires que des sujets avec une « bonne constitution » supportent aisément. Il est, en particulier, hors de doute qu'il existe des familles de vaches où la fréquence de la fièvre vitulaire est élevée, des lignées dont les sujets présentent une fréquence notable de déminéralisation squelettique. Il est vraisemblable que de tels sujets ou familles ont besoin d'apports alimentaires mieux ajustés que ceux dont le système neuro-endocrinien est moins sensible aux facteurs de milieu. Toutefois, il ne nous paraît pas possible d'admettre que, ainsi que certains auteurs l'ont suggéré, le déterminisme de la calcémie et de la phos-

phatémie est uniquement héréditaire. Les phénomènes de régulation de la calcémie et de la phosphatémie paraissent trop dépendants des conditions de milieu pour qu'on puisse retenir une telle opinion.

En conclusion, et sans ignorer les lacunes et les inconnues qui persistent encore à ce stade de nos recherches, nous estimons que les faits déjà acquis permettent de penser que l'exploration de la nutrition phosphocalcique et, plus généralement, minérale, au moyen du dosage des macro et oligo-éléments minéraux des poils du toupet sera d'un réel intérêt pratique et théorique.

RÉSUMÉ

1^o Principaux facteurs de variation de la teneur en Ca et P des poils

a) **Le niveau du poil** : la teneur en calcium augmente de la base du poil vers l'extrémité ; le taux de phosphore est indépendant du niveau du poil.

b) **La région du corps**, et, pour une même région, comme, par exemple, le chignon, les différentes zones d'une même région.

c) **La couleur** : la teneur en P et Ca des poils de différentes couleurs varie en fonction de la pigmentation ; elle est maximum pour les poils noirs, moyenne pour les poils rouges, faible pour les poils blancs.

d) **La calcémie et la phosphatémie** : chez deux vaches hollandaises, au cours d'une période de deux ans et demi, ont été mesurés, chaque semaine, la calcémie et la phosphatémie, et, tous les deux mois environ, le calcium total et le phosphore total des poils du chignon et de l'épaule. L'évolution du P total des poils du chignon suit de façon étroite l'évolution du P minéral du sang total, et le Ca total des poils du chignon reflète de façon moins étroite, mais néanmoins satisfaisante, l'évolution du Ca sérique total. Dans les conditions de l'expérience, le temps de latence entre les modifications de la calcémie et de la phosphatémie et leur traduction dans la composition des poils du chignon est de deux mois en moyenne. Un prélèvement de poils effectué sur une vache non soumise à un prélèvement antérieur, reflète le bilan moyen de l'évolution de la calcémie et de la phosphatémie au cours des 3 à 5 mois précédant le moment du prélèvement. L'établissement d'un tel bilan au moyen de dosages dans le sang nécessite de 12 à 20 examens ; les possibilités d'investigation de la nutrition phosphocalcique se trouvent donc considérablement facilitées par le dosage de Ca et P dans les poils.

e) **La mue** : la correspondance observée entre la calcémie et la phosphatémie et le Ca et P des poils du toupet, dont la mue n'est pas saisonnière, n'est pas observée avec les poils de l'épaule, dont la mue est saisonnière. Il découle des résultats précédents que l'on peut explorer la phosphatémie et la calcémie au moyen du dosage de Ca et P des poils du toupet coupés

à ras, prélevés sur toute la surface du chignon, et présentant la couleur correspondant au standard de la race. Il est donc nécessaire de déterminer pour chaque race la teneur normale en Ca et P.

2° Localisation et rôle de Ca et P dans les poils

Le Ca du poil est localisé dans le cortex kératinique. La disparition progressive des cellules médullaires, peu kératinisées, vers le sommet du poil, est probablement à l'origine de l'augmentation du taux de Ca vers l'extrémité de celui-ci. Le P du poil est localisé principalement dans la cuticule, et est vraisemblablement sous forme phospho-lipidique.

3° Relations entre les teneurs en Ca et P du squelette et des poils

Les relations entre le Ca et P de l'os et des poils du toupet ont été étudiées chez 24 vaches hollandaises d'abattoir. Le Ca et le P de l'os ont été dosés séparément sur trois segments distincts de la partie moyenne de la branche du maxillaire inférieur. Deux paramètres ont été utilisés: 1° la moyenne (m) des trois déterminations, 2° le rapport $\frac{\text{Écart Max. entre les trois déterminations}}{\text{moyenne des 3 déterminations}} \times 100$, ou « indice de mutation ».

Cet indice permet de donner une approximation quantitative du degré de remaniement de la substance osseuse, c'est-à-dire de l'intensité des processus d'ostéolyse en cours ou en réparation; en effet, la corrélation entre la teneur moyenne en Ca de l'os et l'indice de mutation calcique est négative et significative ($r = 0,39$ $p = 0,05$), ce qui exprime le fait que plus l'os est appauvri en Ca, plus sa teneur en Ca varie d'un point à un autre.

La corrélation entre l'indice de mutation calcique et l'indice de mutation phosphorique est positive et significative ($r = + 0,53$), ce qui tend à montrer que les teneurs en Ca et P varient dans le même sens d'un point à un autre du même os. Par contre, la corrélation entre l'indice de mutation phosphorique et le P moyen de l'os n'est pas significative; ceci tend à montrer que l'os libère facilement du calcium mais moins aisément du phosphore. La dispersion du P moyen est d'ailleurs inférieure de moitié environ à la dispersion du Ca moyen.

La corrélation entre l'indice de mutation calcique de l'os et la teneur en calcium des poils est positive et significative ($r = + 0,72$), ce qui traduit le fait que, plus l'os est en remaniement, plus il libère du calcium, celui-ci apparaissant ensuite dans les poils. La surcharge calcique du poil est vraisemblablement analogue à la surcharge calcique des tissus observée dans des ostéolyses d'origines très diverses, et notamment dans les ostéolyses carentielles. Il est vraisemblable que les décharges squelettiques de

Ca sont intermittentes, et que leur mise en évidence dans le sang ne peut être que le fait du hasard, alors que les poils totalisent ces surcharges calciques temporaires. Il semble par ailleurs que l'on ait ignoré dans le passé la signification pathologique que présentent les hypercalcémies juxta-physiologiques de nature compensatrice. La corrélation entre l'indice de mutation phosphorique et le P des poils n'est pas significative ; ceci confirme que le P osseux est peu mobilisable, ou que, s'il est mobilisé, il n'est pas retenu par les tissus, et explique pourquoi l'animal est beaucoup plus dépendant des apports phosphoriques alimentaires que des apports calciques.

4^o Relations entre les apports alimentaires en Ca et P et la teneur en Ca et P des poils

Ce problème a été étudié dans 21 élevages de race hollandaise représentant un total de 288 vaches examinées au cours de l'hiver 1955/1956. Les besoins théoriques en Ca et P, calculés pour une vache de 700 kg donnant 20 litres de lait, sont de : Ca = 115 g et P = 81 g ; les apports ont été calculés dans la majorité des cas au moyen des tables alimentaires.

a) Lorsque les apports en Ca et P sont tous deux inférieurs aux besoins (5 élevages, 57 vaches), le Ca/P étant dans 4 cas sur 5 égal ou supérieur à 2,2, on observe une surcharge calcique des poils (Ca m = 2,55 p. 1000), d'origine vraisemblablement squelettique, et de faibles valeurs en P des poils (P m = 0,21 p. 1000). Ce phénomène peut être expliqué par une hypersécrétion d'hormone parathyroïdienne, laquelle entraîne, ainsi que cela a été démontré par divers auteurs dans d'autres espèces :

1^o l'augmentation de l'ostéolyse.

2^o l'abaissement du seuil rénal d'élimination des phosphates, et, par conséquent, l'hypophosphatémie. Il est à remarquer que c'est uniquement avec ce type de ration qu'on observe du pica.

b) Lorsque l'apport phosphorique est déficitaire et l'apport calcique excédentaire (9 élevages, 122 vaches), le Ca/P étant égal ou supérieur dans tous les cas à 2,3, on observe également une surcharge calcique des poils (Ca m = 2,45 p. 1000), d'origine vraisemblablement exogène, mais, à la différence de ce qui est observé dans la catégorie précédente, des valeurs élevées du phosphore (P m = 0,236 p. 1000). Ce phénomène peut être expliqué par la rétention du phosphore causé par l'inhibition parathyroïdienne secondaire à l'excès alimentaire calcique, phénomène qui a été démontré dans d'autres espèces.

c) Lorsque les apports calciques et phosphoriques sont supérieurs aux besoins (7 élevages, 108 vaches), les valeurs en calcium sont faibles (Ca moy. = 2,17 p. 1000) et les valeurs du phosphore élevées (P m = 0,239 p. 1000). C'est dans cette catégorie qu'on trouve la proportion la plus élevée

d'élevages à forte production laitière et bonne fécondité. Toutefois, lorsque le Ca/P atteint ou dépasse 2,4, on observe des troubles de fécondité et les teneurs en Ca et P des poils augmentent, traduisant une réaction analogue à celle observée dans la catégorie précédente.

On aboutit ainsi à la conclusion apparemment paradoxale qu'une nutrition phospho-calcique équilibrée se traduit par des valeurs relativement faibles du calcium des poils, donc de la calcémie ; ce phénomène est probablement dû à une utilisation efficace du Ca alimentaire ou squelettique, rendue possible par un apport suffisant en phosphore et sans doute aussi en vitamine D.

Des différences statistiquement significatives ont été trouvées entre Ca *m* du groupe *a*) et Ca *m* du groupe *c*) entre Ca *m* du groupe *b*) et Ca *m* du groupe *c*) entre P *m* du groupe *c*), et P *m* du groupe *a*), entre P *m* du groupe *b*) et P *m* du groupe *a*).

5° Évolution du Ca et P des poils au cours de la gestation

Cette évolution a été étudiée sur différents groupes de vaches, se trouvant à divers stades de la gestation ; ces animaux provenaient soit d'exploitations à bonne fécondité et à bonne production laitière (159 vaches au total), soit d'exploitations de mauvaise fécondité, le nombre moyen de saillies par fécondation étant supérieur à deux (147 vaches au total). Les valeurs du Ca *m* et P *m* des vaches du 1^{er} groupe sont constamment inférieures à celles du second, et leurs fluctuations sont peu importantes. Chez les vaches du 2^e groupe, on observe de grandes variations au cours de la gestation et en début de lactation. Il apparaît donc que, chez certaines vaches, les taux du Ca et P des poils, et par conséquent du Ca sérique et du P inorganique du sang, sont très peu influencés par la gestation et la lactation.

6° Production laitière et teneur en Ca et P des poils

La corrélation entre la production laitière et la teneur en Ca des poils a été étudiée chez : 1^o 25 vaches aux 3^e, 4^e mois de lactation, 2^o 33 vaches aux 5^e, 6^e, 7^e mois de lactation, 3^o 26 vaches au 8^e, 9^e mois de lactation. Les coefficients de corrélation suivants ont été obtenus :

1^o + 0,39 non significatif.

2^o — 0,51 significatif.

3^o — 0,69 significatif. ($P = 0,05$).

La surcharge calcique du poil est donc associée à une réduction de la production laitière. L'apparition d'une corrélation négative entre le taux de Ca des poils et la production laitière chez des vaches dont les poils ont été prélevés à partir du 5^e mois de lactation reflète probablement,

étant donné le temps de latence avec lequel les poils traduisent l'évolution de la calcémie, le passage de la phase de bilan calcique négatif à la phase du bilan calcique positif généralement observée vers le 2^e mois de lactation. Aucune corrélation n'a été observée entre le Ca et le taux butyreux, entre le phosphore et la production laitière, entre le phosphore et le taux butyreux.

7^o Fièvre vitulaire et teneur en Ca et P des poils

Les poils de 24 vaches atteintes de fièvre vitulaire, prélevés au moment de la crise vitulaire ont, été dosés. Le calcium présente des valeurs très variables (1,04 à 3,36 p. 1000).

Le phosphore est faible ($P_m = 0,21$ p. 1000), toutes les valeurs, sauf une, étant inférieures ou au plus égales à 0,23 p. 1000, moyenne observée sur 288 vaches non atteintes de fièvre vitulaire. Ce fait est à rapprocher de l'action favorable des compléments phosphorés dans la prévention de la fièvre vitulaire.

8^o Influence de l'âge sur la teneur en Ca et P des poils

La teneur en Ca et P des poils a été étudiée en fonction de l'âge chez : a) 58 vaches en 1^{re} lactation, b) 66 en 2^e, c) 35 en 3^e, d) 26 en 4^e, e) 26 en 5^e et f) 32 en 6^e-10^e lactation. Les teneurs en Ca et P suivantes ont été observées (p. 1000) : a) 2,37 ; 0,22. — b) 2,30 ; 0,23. — c) 2, 23 ; 0,23. — d) 2,19 ; 0,24. — e) 2,27 ; 0,22. — f) 2,20 ; 0,23.

La faible influence de l'âge sur la teneur en Ca et P des poils peut être due, en partie, à l'influence de la sélection, qui a pour effet d'éliminer progressivement les mauvaises laitières. Il est vraisemblable que des facteurs alimentaires favorables et la constitution héréditaire concourent au maintien de l'homéostasie phospho-calcique sanguine, et par conséquent de la teneur en Ca et P des poils, au cours de la vie de certains animaux.

9^o Fécondité et teneur en Ca et P des poils

La relation entre la fécondité moyenne par effectif et la teneur moyenne en Ca et P des poils, a été étudiée dans 21 élevages représentant 278 vaches. Est considéré comme présentant une fécondité normale tout élevage pour lequel le nombre moyen de saillies par fécondation est inférieur à deux au cours des 6 mois précédant le prélèvement des poils. La proportion d'élevages féconds a été respectivement de $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{9}$ et $\frac{4}{7}$ dans les catégories a) b) c) définies au paragraphe 4.

Les 7 élevages féconds présentent, quel que soit le type d'alimentation reçue, une valeur faible en Ca des poils, variant de 1,97 à 2,33

p. 1000 ($m = 2,07$). Les 14 élevages subféconds présentent tous, sauf un, un Ca des poils moyen supérieur à 2,33 p. 1000 ($Ca\ m = 2,55$ p. 1000).

La relation entre la fécondité et la composition des poils a été également étudiée sur le plan individuel. On a comparé les teneurs en Ca et P des poils, mesurées d'une part, chez 54 vaches supposées pleines de moins de 4 mois lors de la prise de poils et dont la fécondation n'avait nécessité qu'une ou deux saillies, et, d'autre part, chez 53 vaches non pleines, ayant été saillies au moins trois fois, ou gestantes de moins de 3 mois après au moins trois saillies, ou non revenues en chaleurs plus de 6 mois après le vêlage. La différence principale entre ces deux groupes de vaches réside dans la fréquence des cas de surcharge calcique et phosphorique des poils, qui est de 5,5 p. 100 dans la population féconde, et de 40,5 p. 100 dans la population inféconde.

La fécondité est donc bonne lorsque le taux de calcium des poils est faible, le taux de phosphore pouvant être dans ce cas faible, moyen ou élevé ; par contre, la subfécondité est fréquente lorsque le taux de calcium des poils est élevé.

La surcharge calcique endogène ou exogène est donc associée à des troubles physiologiques importants retentissant sur la production laitière et la fécondité.

10° Normes de la teneur en Ca et P des poils de vaches hollandaises

En tenant compte des résultats précédents, les normes suivantes de la teneur en Ca et P des poils noirs du chignon des vaches hollandaises sont proposées :

a) teneur optimum, reflétant une alimentation phosphocalcique suffisante et équilibrée :

Ca : 1,80-2,35 p. 1000.

P : 0,21-0,24 p. 1000.

b) teneur reflétant une carence associée en Ca et P :

Ca $>$ 2,35.

P $<$ 0,21.

c) teneur reflétant une carence phosphorique et un excès calcique :

Ca $>$ 2,35.

P $>$ 0,24.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABRAMS (J. T.), 1952. — *Vet. Rec.*, **64**, 151, 174, 185.

ANGELI. — Cité par LANGERON.

ARZOUAMANION (E. A.), 1954. — *Trav. Inst. Elevage*, U. R. S. S., **18**, 163.

BARTTER (F. C.), 1954. — *Ann. Rev. Biochem.*, **16**, 429.

BAUMANN (E. J.) et SPRINSON (D. B.), 1939. — *Am. J. Physiol.*, **125**, 741.

- BECKER, NEAL et SHEALY. — Cités par JOHNSON.
 BERN (A. H.), HARKNESS (D. R.) et BLAIR (S. M.), 1955. — *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **41**, 55.
 BLOCK et Coll. — Cités par WATKINS et KNOX.
 BODA (J. M.) et COLE (H. H.), 1956. — *J. Dairy Sci.*, **39**, 1027.
 BRIGGS, 1922. — *J. Biol. Chem.*, **53**, 13.
 BRÜGGEMAN (J.), DREPPER (K.), KOLB (E.) et SCHILP (G.), 1954. — *Zentral. Veterinärmed.*, **1**, 233.
 CARRUTHERS (G.) et SUNTZEFF (V.), 1953. — *Physiol. Revs.*, **33**, 228.
 CHAMBERS (E. G.), 1948. — Calcul statistique pour débutants, Gauthier-Villars, édit., Paris.
 CHARLOT (G.) et GAUGUIN (R.), 1952. — Dosages colorimétriques. Masson, édit., Paris.
 CHASE (H. B.), 1954. — *Physiol. Revs.*, **34**, 113.
 CONRAD (H. R.), HANSARD (S. L.), HIBBS (J. W.) et PATRICK (H.), 1955. — *J. Anim. Sci.*, **14**, 1196.
 CONVERSE (H. T.), 1954. — Calcium requirements of Dairy Cattle. *U. S. Dept. Agric. Techn. Bull.*, 1092.
 CSUKAS (Z.), 1939. — *Mezőgazdas Kutatas*, **12**, 173.
 DAVIS (G. K.) et LOOSLI (J. K.), 1954. — *Ann. Rev. Biochem.*, **23**, 459.
 DRYERRE (H.) et GREIG (J. R.), 1925. — *Vet. Record.*, **5**, 225.
 DU TOIT (P. J.) et BISSCHOP (J. H. R.), 1929. — Cités par HIGNETT, 1950.
 ECKLES (C. H.), PALMER (L. S.), GULLICKSON (T. W.), FITCH (C. P.), BOYD (W. L.), BISHOP (L.) et NELSON (J. W.), 1953. — *Cornell Vet.*, **25**, 22.
 ELLENBERGER, NEWLANDER et JONES. — Cités par MEIGS et Coll.
 FOLLEY (S. J.), SCOTT WATSON (H. M.) et AMOROSO (E. C.). — Cités par SIMONNET (H.) et LEBARS (H.).
 FORBES et Coll. — Cités par MEIGS et Coll.
 GARM (O.), 1950. — *Nord. Veterinärmed.*, **2**, 751.
 GOLDBLUM (R. W.), DERBY (S.) et LERNER (A. B.), 1953. — *Journ. Invest. Dermatology*, jan. 1953, p. 13.
 GREEN (H.), 1939. — *Vet. Rec.*, **51**, 1179.
 GREEN et DU TOIT. — Cités par WATKINS et KNOX.
 HAM (A. W.), LITTNER (N.), DRAKE (T. G. H.), ROBERTSON (E. C.) et TISDALL (F. F.), 1940. — *Amer. J. Pathol.*, **16**, 277.
 HAMMOND (J.), 1946. — The problem of fertility. Engle edr., Princeton (N. J.).
 HANSARD (S. L.), CROWDER (H. M.) et COMAR (C. L.), 1954. — *J. Anim. Sci.*, **13**, 986.
 HANSSON (A.), 1948. — *Acta agric. Suecana*, **3**, 986 ; *Nutr. abstr.*, **18**, 897.
 HART (G. H.) et GUILBERT (H. R.), 1928. — Cités par HIGNETT, 1950.
 HART, KEENAN et HUMPHREY. — Cités par MORRISON.
 HAYDEN (C. E.), 1938. — *Cornell Vet.*, **28**, 152.
 HEINEMANN (W. W.), ENSMINGER (M. E.), HAW (W. E.) et OLDFIELD (J. E.), 1954. — *J. Anim. Sci.*, **13**, 988.
 HIGNETT (S. L.), 1950. — *Vet. Record.*, **62**, 654.
 HIGNETT (S. L.) et HIGNETT (P.), 1951. — *Ibid.*, **63**, 603.
 HIGNETT (S. L.) et HIGNETT (P.), 1952. — *Ibid.*, **64**, 203.
 HIGNETT (S. L.) et HIGNETT (P.), 1953. — *Ibid.*, **65**, 21.
 HIGNETT (S. L.), 1956. — C. R. III^e Congrès Intern. Reproduction Animale, Cambridge.
 HOWARD (J. E.), 1951. — *Bull. N. Y. Acad. Med.*, **27**, 24.
 JARL (F.), 1953. — *Kgl. Lantbrukohöghsk. Ann.*, **20**, 151. *Nutr. Abstr.*, **24**, 702.
 JOHNSON (S. R.), 1939. — *Journ. Nutr.*, **17**, 15.
 KAHANE (E.), 1934. — L'action de l'acide perchlorique. Hermann édit., Paris.
 KAHANE (E.), 1953. — Communication personnelle.

- KLEIBER (M.), SMITH (A. H.), RALSTON (N. P.) et BLACK (A. L.), 1951. — *J. Nutrition*, **45**, 253.
- VAN KOETSVOLD (E. E.), 1954. — *Tijdsr. v. Diergeneesk.*, **79**, 405.
- KORKMANN, 1947. — *Acta Agrol. Fenn.*, **64**, 107.
- LANGERON (M.), 1949. — Précis de microscopie. Masson, édit., Paris.
- LERICHE (R.), 1939. — Physiologie et pathologie du tissu osseux. Masson, édit., Paris.
- LESBOUYRIES (G.) et CHARTON (A.), 1949. — *Rec. Med. Vet.*, **125**, 289.
- LIÉGEOIS (F.), DERIVAUX (J.) et HENNAUX (L.), 1945. — *Ann. Med. Vet.*, **89**, 97.
- LIÉGEOIS (R.) et DERIVAUX (J.). — 1949, *C. R. Soc. Biol.*, **143**, 126.
- LONG (R. A.), VAN ARSDELL (R.), MACVICAR (R.) et ROSS (O. B.), 1952. — *Oklahoma Agric. Exp. Sta. Techn. Bull.*, **43**.
- LUEBER (G. D.), 1928. — *Strahlentherapie*, **29**, 139.
- MAGNANI (G.), 1956. — *La Clinica Veterinaria*, **79**, 97.
- MATHIEU (F.), 1934. — *Bull. Acad. Roy. Med.*, Belgique, p. 54.
- MAIGS (E. B.), TURNER (W. A.), KANE (E. A.), SHINN (L. A.), 1935. — *Journ. Agric. Res.*, **51** (1).
- MORRISON (F. B.), 1950. — Feeds and Feeding. The Morrison Publishing cy, Edr. Ithaca.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. — Committee on animal nutrition, Recommended nutrient allowances for Dairy Cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1946, **108**, 172.
- NICOLAYSEN (R.), EEG-LARSEN (H.) et MALM (D. J.), 1953. — *Physiol. Rew.*, **33**, 424.
- O'MOORE (L. B.), 1950. — *Nature*, **165**, 192.
- OTTO (J. S.), 1938. — *Onderstepoort J. Vet. Sci.*, **10**, 281.
- OWEN (E. C.), 1954. — *Jour. Dairy Res.*, **21**, 433.
- PALMER (L., S.) CUNNINGHAM (W. S.) et ECKLES (C. H.), 1930. — *J. Dairy Sci.*, **13**, 174.
- PALMER, FITCH, GULLICKSON et BOYD. — Cités par MEIGS et Coll.
- PALMER (L. S.), GULLICKSON (T. W.), BOYD (W. L.), FITCH (C. P.) et NELSON (J. W.), 1941. — *J. Dairy Sci.*, **24**, 199.
- PIERRE (M.), DE BOISSEZON (P.) et LOMBARD (C. H.), 1939. — *C. R. Soc. Biol.*, **130**, 341.
- PLUMLEE (M. P.), HANSARD (S. L.), COMAR (C. L.) et HOBBS (L. S.), 1951. — *J. Dairy Sci.*, **34**, 508.
- RIEMERSCHMID (G.) et ELDER (J. S.), 1945. — *Onderstepoort J. Vet. Sci.*, **20**, 223.
- ROBERTSON (A.), BURGESS (J. W.), MARR (A.) et MILNE (B. J. C.), 1948. — *Vet. Rec.*, **60**, 505.
- ROGNONI (G.), 1956. — *Zootecnica e Veterinaria*, **11**, 55.
- ROUGEOT, 1955. — Communication personnelle.
- ROWSON (L. E. A.), LAMMING (G. E.) et FRY (R. M.), 1953. — *Vet. Rec.*, **65**, 335.
- RUSHOFF (L. L.), 1950. — *J. Anim. Sci.*, **9**, 666.
- SCHWARZENBACH (G.), et FLASHKA (H.). — *Les Complexones*. Soc. Anon. Siegfried Edr. Zofingue.
- SEEKLES. — Cité par GREEN.
- SHEEHY (E. J.), O'DONOVAN (J.), DAY (W. P.) et CURRANS (S.), 1948. — *J. Dept. Agric. Eire*, **45**, 5. — *Nutr. Abstr.*, **19**, 739.
- SHERMAN (H. C.), 1946. — Calcium and phosphorus in foods and nutrition. Columbia Univ. Press Edr. New York.
- SHIELDS (J. B.) et MITCHELL (H. H.), 1946. — *J. Nutrition*, **32**, 213.
- SIMONNET (H.) et le BARS (H.), 1954. — *Ann. Zoot.*, **1**, 47, 125.
- SOLUN (A. S.) et MELYUKOV (A. N.), 1950. — *Soviet. Zootekh.*, **7**, 70. — *Nutr. Abstr.*, **21**, 606.

- STEWART (E.), 1953. — *Agricultural Engineering*, **34**, 235.
STOERK (H. C.) et CARNES (W. H.), 1945. — *J. Nutrition*, **29**, 43.
SWENSON (M. J.), UNDERBJERG (G. K. L.) et GOETSCH (D. D.), 1955. — *J. Anim. Sci.*, **14**, 1257.
THEILER (A.), GREEN (H. H.) et DU TOIT (P. J.), 1928. — *J. Agric. Sci.*, **18**, 369.
THOMSON (A. M.) et DUNCAN (D. L.), 1954. — *Nutr. Abstr.*, **24**, 1.
VELLIZ (L.) et DESCHASEAUX (R.), 1930. — *C. R. Soc. Biol.*, **104**, 976.
VISEK (W. J.), MONROE (R. A.), SWANSON (E. W.) et COMAR (C. L.), 1953. — *Journ. Nutrition*, **50**, 23.
WARD (G. M.), BLOSSER (T. H.) et ADAMS (M. E.), 1952. — *J. Dairy Sci.*, **35**, 587.
WASHBURN (R. G.), GILMORE (L. O.) et FECHHEIMER (N. S.), 1954. — *Journ. Anim. Sci.*, **12**, 898, et **13**, 964.
WATKINS (W. E.) et KNOX (J. H.), 1948. — *J. agric. Sci.*, **7**, 263.
WEBSTER (W. M.), 1932. — Cité par HIGNETT.
WESTERLUND (A.), 1937. — *Lantbrukshögsk. Ann.*, **4**, 55. — *Nutr. Abstr.*, **7**, 1123.
WHEELER (S. S.), 1945. — Cité par HIGNETT, 1950.
WHITELEY (H. J.), STONER (H. B.) et THREFALL (R.), 1953. — *Brit. J. Exp. Path.*, **34**, 73.
WILSON (J. G.), 1953. — *Anim. Br. Abstr.*, **21**, 10.715.
YEATES (N. T. M.), 1954. — *Nature*, **174**, 609.
-