

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

PAR

M. BROCHART

Laboratoire de recherches de la Chaire de Zootechnie
École Nationale Vétérinaire, Alfort

PLAN DU MÉMOIRE

- I. — Introduction.
- II. — Méthodes.
- III. — Prélèvement et échantillonnage. Influence de la couleur des poils sur la teneur en Ca et P.
- IV. — Relations entre la calcémie, la phosphatémie et la teneur en Ca et P des poils.
- V. — Localisation, rôle et origine du Ca et P des poils.
- VI. — Relations entre les teneurs en Ca et P du squelette et des poils.
- VII. — Relations entre les apports alimentaires phospho-calciques et la teneur des poils en Ca et P.
- VIII. — Relations entre la teneur en Ca et P des poils, et la gestation, la lactation, et l'âge.
- IX. — Relations entre la fécondité et la teneur en Ca et P des poils.
- X. — Recherche de normes de la teneur en Ca et P des poils et d'apports alimentaires en Ca et P.
- XI. — Discussion générale.

Résumé.

Bibliographie.

INTRODUCTION

La grande fréquence des affections par carences, déséquilibres et troubles de la nutrition phospho-calcique chez les vaches laitières est

⁽¹⁾ Manuscrit remis le 29 octobre 1956.

reconnue de façon très générale. Cette situation résulte de trois facteurs principaux :

1^o Carences ou déséquilibres de la teneur des sols en Ca et P assimilables, entraînant la production de fourrages carencés ou déséquilibrés.

2^o Rations insuffisantes ou mal composées du point de vue minéral et vitaminique.

3^o Importance des besoins en Ca, P et vitamine D des vaches bonnes laitières, et prédisposition de ces femelles aux troubles endocriniens d'origine nutritionnelle.

Les conséquences de ces carences et déséquilibres phospho-calciques sont multiples : stérilité, faible production laitière, ostéo-malacie, fièvre vitulaire, rachitisme, moindre résistance aux maladies microbiennes et parasitaires, etc. Les incidences économiques de ces affections sont donc très lourdes, et l'emploi de plus en plus fréquent de compléments minéraux et vitaminiques dans l'alimentation des bovins représente une tentative de pallier cet état de choses. Toutefois, l'administration systématique de compléments minéraux passe-partout, cas le plus fréquent actuellement, ne représente pas une solution convenable, tant du point de vue de l'efficacité que de la rentabilité ; le complément minéral non adapté, cas qui est assez fréquent, risque d'aggraver un déséquilibre au lieu de le corriger. Enfin, même si le complément minéral, correctement composé et adapté, représente un palliatif de valeur, son degré d'assimilation par l'animal risque d'être faible.

L'amélioration de la composition minérale des fourrages par les engrais et les amendements, qui permet de fournir à l'animal le Ca et P sous une forme biologique assimilable, et l'établissement de rations équilibrées représentent les deux objectifs à atteindre. Toutefois, l'analyse du sol ne permet pas toujours de connaître la fraction du Ca et P qui est réellement assimilable. L'analyse minérale des fourrages nécessite un échantillonnage valable, en raison des variations considérables de la teneur en Ca et P dépendant du sol (variations d'une parcelle à une autre), des espèces végétales, du stade de végétation, des conditions atmosphériques.

En supposant que l'on ait des renseignements valables sur la composition minérale des fourrages, il faut encore que l'on puisse obtenir de l'éleveur des renseignements précis sur les quantités de fourrages distribuées. Il faut connaître enfin la production laitière et le poids des animaux pour calculer les besoins théoriques, et les confronter avec les apports ; parfois possible avec les rations d'hiver, le calcul exact des apports alimentaires au cours de la période d'herbage est pratiquement impossible. En supposant les conditions précédentes remplies, ce qui est loin d'être le cas général, il faut savoir, et c'est le point essentiel, ce que l'animal assimile, car de nombreux facteurs, qu'il est difficile ou même impossible d'apprécier, viennent augmenter ou diminuer l'assimilation des éléments miné-

raux, par exemple l'apport et les possibilités de synthèse de la vitamine D, le pouvoir individuel d'assimilation, l'acidose due aux ensilages acides, l'excès d'aliments accélérant le péristaltisme intestinal, etc. Le calcul de la composition minérale d'une ration, soit à partir des données analytiques, soit, à défaut, à partir des tables, ne permet donc qu'une approximation assez grossière des quantités de Ca et P qui seront assimilées par l'animal ; il est évident que ce calcul permet cependant de dépister des anomalies flagrantes dans les apports minéraux, et son intérêt ne saurait donc être sous-estimé.

Il résulte de ces diverses considérations que l'exploration, par une autre voie, de la nutrition phospho-calcique de l'animal est une nécessité.

Les témoins de la nutrition phospho-calcique. Méthodes d'exploration

Le P et le Ca alimentaires sont absorbés principalement au niveau de l'intestin grêle ; parmi les facteurs favorisant cette absorption figurent, la vitamine D, un équilibre favorable entre Ca et P, et entre ces derniers et les autres éléments minéraux, un pH intestinal acide, un apport convenable en aliments énergétiques et protéiques, la faculté individuelle d'assimilation.

Le calcium est excrété principalement par l'intestin, et le phosphore par les reins. Une fraction variable du Ca et P excrétés peut être endogène, provenant notamment, dans le cas du calcium, d'une mobilisation des réserves squelettiques ; cette mobilisation du calcium est contrôlée principalement par la parathormone, qui déclenche l'ostéolyse et abaisse le seuil d'élimination urinaire des phosphates. La sécrétion parathyroïdienne est stimulée par l'hypocalcémie ou une diminution du rapport Ca/P alimentaire ; elle est inhibée par un excès de Ca.

L'hormone thyroïdienne, l'hypervitaminose D augmentent l'élimination urinaire et fécale de Ca et P, les hormones sexuelles la freinent.

L'ostéolyse affecte d'abord l'os trabéculaire, et ce n'est que secondairement que l'os compact est intéressé. Les ostéolyses, qu'elles soient compensatrices ou non, sont accompagnées d'une augmentation de la teneur en phosphatases, laquelle a une traduction sanguine.

La teneur en Ca et P (phosphatémie) du sang est la résultante des apports exogènes et endogènes en Ca et P, du taux d'élimination urinaire et fécal, des exportations dans le lait et le fœtus, du stockage au niveau de l'os. L'homéostasie calcique sanguine est rigoureuse, c'est pourquoi les variations positives ou négatives de la calcémie sont suivies de réactions compensatrices rapides de la part du système osseux (fixation ou libération de Ca) et des organes d'élimination (accroissement ou diminution de l'élimination).

L'équilibration entre la teneur en P du sang d'une part, et des autres tissus d'autre part, s'effectue également, mais est soumise à un contrôle moins rigoureux.

On voit ainsi que la nutrition phospho-calcique peut être explorée en étudiant une ou plusieurs de ses composantes, à savoir la mesure des excrétions (bilans), de la réserve osseuse, du Ca et P minéral du sang.

1° La méthode des bilans.

Cette méthode implique la mesure des quantités de P et Ca ingérées, et excrétées, par les voies urinaire et fécale. Utilisable sur les animaux de laboratoire, elle est impensable, dans la pratique. Elle présente de plus un défaut majeur, car on peut observer des bilans positifs chez des animaux fortement carencés, la mobilisation des réserves squelettiques permettant le maintien d'un bilan positif.

L'emploi des radio-éléments (CONRAD et coll., DAVIS et LOOSLI, HANSARD et coll., KLEIBER et coll., NICOLAYSEN et coll., OWEN, PLUMLEE et coll., RALSTON et coll.), fournit des informations très intéressantes sur l'origine alimentaire ou endogène des excrétions fécales et urinaires en Ca et P, la vitesse, la proportion selon laquelle le Ca et le P radio-actifs injectés à l'animal sont fixés par le squelette, les tissus mous, le fœtus, etc. ou passent dans le lait, ou les fèces ; grâce aux radio-éléments on a pu préciser les lieux d'absorption et d'excrétion intestinales de Ca et P, la digestibilité de Ca et P, l'aptitude à la mobilisation du Ca squelettique, le rôle de la vitamine D, etc. Si, du point de vue fondamental, il est par conséquent hors de doute que l'emploi des radio-éléments a permis et permettra des progrès considérables dans la connaissance du métabolisme phospho-calcique, on ne peut envisager, tout au moins dans un proche avenir, leur utilisation sur une large échelle dans les conditions pratiques.

2° L'exploration osseuse.

La radiographie osseuse nécessite un équipement difficilement utilisable sur une large échelle ; l'interprétation des images radiographiques est subjective, non quantitative, elle ne permet pas le dépistage des raréfactions osseuses débutantes, ni la différenciation entre, d'une part, les processus pathologiques d'ostéolyse, et, d'autre part, la réparation osseuse en évolution, ou les modifications osseuses concomitantes de la croissance. C'est pourquoi, en clinique humaine, l'exploration radiographique du rachitisme est menée de pair avec l'examen clinique (THOMSON et DUNCAN).

La biopsie osseuse en vue du dosage de Ca et P présente des difficultés pratiques si l'on veut opérer sur un grand nombre d'animaux. De plus,

l'objection majeure à opposer à une telle méthode est l'absence totale de signification d'un prélèvement unique et petit de substance osseuse, étant donné la grande variabilité de la composition de l'os en des points parfois très voisins. La nécessité de plusieurs prélèvements exclut à fortiori l'emploi de cette méthode dans la pratique.

3° L'exploration du sang.

La mesure de la calcémie et de la phosphatémie ne posent pas de problèmes du point de vue de leur mise en œuvre dans la pratique. Toutefois, le dosage du phosphore minéral sanguin nécessite, même en présence de produits conservateurs et inhibiteurs de l'hydrolyse des esters phosphoriques (F Na par exemple), la conservation du sang à basse température, et une certaine rapidité pour le délai du dosage, nécessités qui ne sont pas toujours compatibles avec celles de la pratique, mais les difficultés principales ne sont pas là. Le phosphore minéral sanguin, classiquement utilisé pour évaluer le phosphore utilisable, est sujet à des fluctuations indépendantes de la nutrition : ces variations de la phosphatémie dépendent du moment de la journée, surtout du délai de la prise de sang par rapport aux repas, de l'exercice pris par l'animal avant la saignée, de la difficulté éventuelle qui a présidé à la prise de sang (PALMER, CUNNINGHAM et ECKLES). Ces fluctuations sont telles que, selon PALMER et coll., il y a peu de chance pour qu'une valeur isolée ait une signification. C'est pourquoi, lorsqu'on veut avoir une idée exacte de la phosphatémie à un moment donné, il est recommandé de faire des prélèvements de sang pendant 2 à 3 jours consécutifs, de préférence le matin à jeun ; même dans ces conditions on observe des fluctuations importantes de la phosphatémie, allant jusqu'à 2 mg pour 100 cc de sang, soit 50 p. 100 environ de la valeur moyenne. Ceci limite notablement la valeur de la mesure de la phosphatémie dans les conditions pratiques.

Même en se plaçant dans des conditions rigoureuses (mesures répétées effectuées dans des conditions identiques), l'interprétation des valeurs obtenues n'est pas toujours aisée. Il existe un seuil inférieur de la phosphatémie, qui varie, selon les auteurs (WATKINS et KNOX), de 2 à 5 mg, à partir duquel on peut affirmer qu'il y a phosphatémie anormalement faible et carence phosphorique. Néanmoins, même à des taux aussi faibles que 2 mg P par 100 cc, on peut observer une production laitière normale (WATKINS et KNOX). Pour certains auteurs, le moment d'apparition de ces valeurs anormales de la phosphatémie se situe, dans le développement de la carence phosphorique, un peu après l'apparition du pica, et est donc assez tardif (PALMER et coll., 1941, RUSHOFF), alors que pour BLOCK et coll., on peut diagnostiquer l'aphosphorose par dosage du P minéral sanguin avant l'apparition des signes cliniques. Lors de carence

peu accusée, avec néanmoins des troubles fonctionnels importants, tels que la stérilité, ou lors de carence « conditionnée », c'est-à-dire due à un excès de calcium, l'apport phosphorique étant suffisant, l'abaissement de la phosphatémie est peu important, ou même nul (HIGNETT), et est sans signification diagnostique. Seules donc, les carences massives en phosphore se traduisent parfois par une baisse importante et relativement rapide de la phosphatémie (GREEN, WATKINS et KNOX).

Alors que les mécanismes régulateurs de la phosphatémie sont suffisamment labiles pour qu'une carence importante ait parfois une traduction relativement rapide dans le sang, il n'en est pas de même pour la calcémie (calcium sérique total), qui est placée sous un contrôle physiologique rigoureux, et il est classiquement démontré que la calcémie se maintient à une valeur normale pendant de longs mois lors de carence calcique importante. La calcémie ne s'effondre qu'en phase très tardive de l'évolution des carences calciques, du rachitisme en particulier. L'exploration de la calcémie n'a, par suite, qu'une valeur diagnostique trop limitée pour avoir un intérêt dans la prévention des troubles carentiels calciques. Par ailleurs, il existe bien, en dehors des hypocalcémies importantes, telles qu'on les rencontre dans la fièvre vitulaire, des calcémies « physiologiques quoique faibles, mais celles-ci sont sans signification pathologique et diagnostique » (GREEN).

En ce qui concerne la mesure de la phosphatase alcaline sanguine, dont le taux augmente lors des processus ostéolytiques, les conclusions du « National Research Council » des États-Unis sont que, en dehors du cas particulier du rachitisme infantile, où cette détermination a une valeur diagnostique complémentaire de l'examen clinique et radiologique, dans tous les cas de troubles carentiels phospho-calciques la valeur de cette détermination reste à démontrer (THOMSON et DUNCAN).

4^o L'examen clinique.

En présence des signes cliniques spécifiques d'aphosphorose ou de carence calcique, tels que pica, fractures fréquentes, rachitisme des veaux, déformations osseuses, troubles de la locomotion ou de la station debout, etc., le diagnostic peut être posé sur les seules bases cliniques. Il n'en est plus de même dans les très nombreux cas de subcarences, où les troubles observés, tels que mauvaise fécondité, faible production laitière, arrêt de la croissance, fragilité des veaux, inappétence, troubles locomoteurs discrets, etc. ne sont pas spécifiques. Or, c'est à ce stade, et même avant, qu'il s'agit de faire un diagnostic précoce et spécifique.

Il apparaît ainsi qu'on ne dispose pas, à l'heure actuelle, d'une méthode de dépistage sur l'animal des affections par carences ou déséquilibres phospho-calciques répondant aux conditions suivantes :

- 1^o précocité des informations fournies ;
- 2^o indépendance vis-à-vis des fluctuations accidentelles ;
- 3^o utilisation aisée dans la pratique.

Le présent travail, commencé en octobre 1953, a eu pour objet de rechercher si le dosage de P et Ca dans les poils ne pourrait pas constituer une méthode de dépistage des carences et déséquilibres phospho-calciques, et ceci en partant des considérations à priori suivantes :

a) La composition chimique du poil doit, logiquement, refléter celle du sang, à partir duquel le poil reçoit les éléments nécessaires à sa croissance. La présence très générale de P et de Ca dans les tissus autorisait à penser que ces éléments existaient aussi dans le poil.

b) La croissance lente du poil doit permettre à celui-ci de refléter dans sa composition, non pas un état nutritionnel particulier, tel que celui du jour où s'effectue une prise de sang, par exemple, mais un processus nutritionnel étagé sur une période de plusieurs semaines ou de plusieurs mois. La composition du poil doit donc échapper aux fluctuations accidentelles, ou, plus exactement, les totaliser en en faisant un bilan moyen.

c) Il est bien connu que les poils sont un des premiers tissus à présenter des modifications d'aspect, de couleur, de structure lors de processus pathologiques divers, et de troubles nutritionnels en particulier. Les poils devraient donc constituer un réactif assez sensible.

d) Le poil est extrêmement facile à prélever ; sa conservation est indéfinie.

Une confirmation de la justesse de ces hypothèses de travail nous a été fournie par la publication en 1955 d'un travail de KOETSVOLD qui conclut à la possibilité du diagnostic des carences en cuivre et cobalt chez les bovins par analyse chimique des poils.

Nous tenons à remercier toutes les personnes, trop nombreuses pour les citer toutes, qui nous ont aidé à des titres divers au cours de nos recherches, et sans le concours desquelles ce travail eut été impossible. Nous sommes reconnaissant au laboratoire de Zootechnie de l'Institut national agronomique pour les facilités de recherches qu'il nous a procurées.

II. — MÉTHODES

I. — Dosage de Ca et P dans les poils

a) Prélèvement et échantillonnage.

Ce problème est étudié au chapitre III.

b) Lavage.

Une quantité de poils pesant 0,5 à 1 g est placée dans un flacon dans lequel on ajoute environ 100 cc de Lauryl sulfonate d'ammonium

à 4 p. 1000 dans l'eau distillée. Alors que, selon KAHANE (1953), le lavage des poils avec un solvant des graisses entraîne des pertes en phosphore, nous avons observé que le lavage pendant une heure avec ce détergent à faible concentration n'entraîne pratiquement pas de pertes en Ca et P (tableau I).

TABLEAU I

Influence de la durée de lavage des poils avec un détergent sur la teneur en Ca et P.

Durée de lavage avec changement de la solution entre chaque temps	Échantillon N° I (p. 1000)		Échantillon N° II (p. 1000)		Échantillon N° III (p. 1000)	
	Ca	P	Ca	P	Ca	P
30 minutes.....	1,50	0,19	1,88	0,21	3,60	0,26
60 »	1,46	0,19	1,84	0,21	3,66	0,24
120 »	1,50	0,19	1,88	0,21	3,58	0,23
360 »	1,48	0,19	1,80	0,19	3,60	0,23

Le flacon contenant les poils est placé dans un agitateur mécanique à 120 agitations/minute, pendant une demi-heure. Le liquide de lavage est décanté, et on effectue un deuxième lavage, dans les mêmes conditions. Les poils sont ensuite abondamment rincés à l'eau distillée sur un filtre BUCHNER. On effectue un triage soigné avec une pince fine pour éliminer les derniers éléments étrangers pouvant subsister encore à ce stade. Les poils sont ensuite essorés, puis séchés 12 heures à 100-105°. Si on n'effectue pas la pesée immédiatement au sortir du four, les poils sont chauffés de nouveau deux heures avant la pesée. Pour la pesée, les poils sont coupés finement avec des ciseaux, ou broyés avec un micro-broyeur mécanique. Le dosage de Ca et P peut être effectué sur 100 mg de poils noirs ou rouges et 200 mg de poils blancs. Des quantités supérieures donnent toutefois des valeurs plus précises, notamment pour les poils blancs, dont la teneur en Ca et P est faible.

Deux méthodes de minéralisation peuvent être utilisées, l'une par voie humide (minéralisation nitro-perchlorique), l'autre par voie sèche.

c) Minéralisation nitro-perchlorique.

La méthode utilisée est celle de KAHANE (1934). Nous ajoutons, pour 100 mg de poils 3 cc d'acide nitrique et 4 cc d'acide perchlorique ; KAHANE a souligné qu'un excès de mélange nitro-perchlorique est nécessaire si l'on veut obtenir une minéralisation complète ; nous avons observé que des quantités trop faibles d'acides ne permettaient pas de minéraliser convenablement le phosphore, et donnaient des valeurs très aberrantes, par défaut ou par excès.

En fin de minéralisation, on doit éliminer l'excès d'acide perchlori-

que, car si l'on ne prend pas cette précaution, il faut de grandes quantités de soude pour neutraliser l'extrait lors du dosage du calcium par précipitation oxalique, ce qui entraîne une coprécipitation d'oxalate de soude.

Le résidu de minéralisation obtenu après réduction du volume par chauffage est complété à 10 cc. Les dosages de Ca et P sont effectués sur 5 cc de solution.

d) Dosage du Phosphore.

Le dosage est effectué sur l'extrait neutralisé, selon BRIGGS, en milieu sulfurique normal. L'acide perchlorique insolubilise la silice (KAHANE, 1934), et cette méthode de minéralisation élimine donc les possibilités d'interférence entre le phosphore et la silice, dont la présence a été signalée dans les poils (GOLDBLUM, DERBY et LERNER). De plus, en milieu sulfurique normal, le complexe silico-molybdique ne se forme pas (CHARLOT et GAUGUIN).

e) Dosage du calcium.

Le calcium est dosé suivant la technique classique, par précipitation oxalique et manganimétrie. En respectant les précautions très minutieuses qu'exige cette méthode, on obtient une récupération qui est de l'ordre de ± 10 p. 100 de la quantité ajoutée.

f) Minéralisation par voie sèche.

La minéralisation est effectuée par voie sèche à 600° environ, pendant 15 heures. La température de chauffage ne modifie pas sensiblement les résultats dans les limites 550°-750°. Les cendres sont reprises avec 1 cc HCl normal et complétées à 10 cc avec H₂O. Le dosage est effectué comme précédemment, sur 5 cc pour le phosphore et 5 cc pour le calcium.

g) Dosage du calcium par complexométrie.

Le dosage est effectué selon SCHWARZENBACH et FLASHKA, par complexométrie directe, en présence de murexide comme indicateur. Ce dosage est possible dans la mesure où Ca et Mg sont en faible concentration, et si Mg n'est pas en concentration excessive par rapport à Ca. Ce dosage est possible quand il y a 50 p. 100 de Mg par rapport à Ca (tableau II).

Des dosages effectués sur des échantillons composites de poils noirs (mélange provenant de 20 vaches) et de poils blancs (mélange provenant de 15 vaches) ont donné les valeurs suivantes de Ca et Mg (tableau III) indiquant que le dosage de Ca par complexométrie directe avec la murexide est possible.

TABLEAU II

Récupération de Ca en présence de Mg (complexométrie).

Ajouté (volume 10 cc)			Retrouvé			
Ca (γ)	Mg (γ)	Mg/Ca %	Ca (γ)	%	Mg (γ)	%
66,6	33,3	50	66	99	30,5	92
83	16,6	20	84	101	15,6	94
91	9,1	10	85	93	8,6	95

TABLEAU III

Concentrations de Ca et Mg dans les poils.

	Ca (p. 1000)	Mg (p. 1000)	Mg/Ca (p. 100)
Poils noirs.....	2,40	0,25	10
Poils blancs.....	0,73	0,10	14

*h) Comparaison des valeurs obtenues
par minéralisation nitro-perchlorique et par voie sèche.*

Les valeurs obtenues pour le phosphore et la récupération sont comparables avec les deux méthodes de minéralisation (tableau IV).

Pour le calcium, on note régulièrement des valeurs inférieures d'environ 10 p. 100 lors du dosage par complexométrie ; cette différence systématique tient probablement à une légère coprécipitation d'oxalate de sodium dans le cas du dosage par précipitation oxalique.

TABLEAU IV

Comparaison des résultats obtenus par différentes méthodes de minéralisation ou de dosage.

	Calcium (p. 1000)				Phosphore (p. 1000)			
	Minéralisation nitro-perchlorique (précipitat. oxaliqu.)		Minéralisation sèche (complexométrie)		Minéralisation nitro-perchlorique		Minéralisation sèche	
		% Récupéré		% Récupéré		% Récupéré		% Récupéré
100 mg poils noirs	2,42		2,10		0,22		0,22	
100 mg poils noirs + 105 γ Ca + 30 γ P.....	3,42	95	3,10	95	0,50	94	0,49	91

1° *Principales causes d'erreur dans le dosage de Ca et P des poils.*

Ces erreurs sont :

1° Pour la minéralisation nitro-perchlorique,

a) une quantité insuffisante de mélange nitro-perchlorique,
b) un excès d'acide en fin de minéralisation,
c) une réduction trop poussée (dessiccation complète) de la quantité finale d'acide, entraînant une attaque du verre.

2° Pour le dosage du phosphore, le vieillissement des solutions réductrices, qui doivent être renouvelées fréquemment.

3° Pour le dosage du calcium par précipitation,

a) la présence d'un excès de sels de sodium,
b) une précipitation non quantitative de l'oxalate de Ca, due soit à un temps trop bref de précipitation (minimum 1 h 30), soit à l'emploi d'une solution d'oxalate d'ammonium peu concentrée (nous utilisons une solution à 4 p. 100),

c) des pertes au lavage du précipité,

d) un lavage incomplet du précipité.

4° Pour le dosage du calcium par complexométrie, un vieillissement de la dilution solide de murexide, qui doit être préparée chaque jour.

Afin de pouvoir dépister facilement les erreurs expérimentales pouvant intervenir au cours de la minéralisation et des dosages, nous incorporons dans chaque série un échantillon de poils « étalon », provenant d'un stock de poils dont les valeurs de Ca et P sont déterminées par de nombreux dosages.

2° Dosage de Ca et P dans le sang.

Le sang est prélevé le matin à jeun : pour le dosage du P minéral du sang total, on additionne 10 mg de FNa par cc de sang ; le sang est conservé à la glacière, et dosé dans l'heure qui suit le prélèvement. La déprotéinisation est effectuée avec l'acide trichloracétique à 10 p. 100. Le phosphore est dosé selon BRIGGS.

Le calcium sérique total est dosé après minéralisation nitro-perchlorique. Seule la minéralisation permet d'éviter les erreurs rencontrées lorsqu'on dose le calcium après précipitation directe (VELLUZ et DESCHAZEAUX).

3° Dosage de Ca et P dans l'os.

Le maxillaire inférieur droit ou gauche est scié transversalement au niveau de la première molaire d'une part, et un peu en arrière du début de l'arcade incisive d'autre part ; ces deux sections limitent un segment d'os d'une longueur variant de 6 à 10 cm, suivant les vaches et constitué uniquement d'os compact. L'os est gratté, débarrassé de la moelle ; on découpe à la scie trois rondelles d'os, d'environ 2 mm d'épaisseur, l'une en région médiane, les deux autres aux deux extrémités du segment d'os.

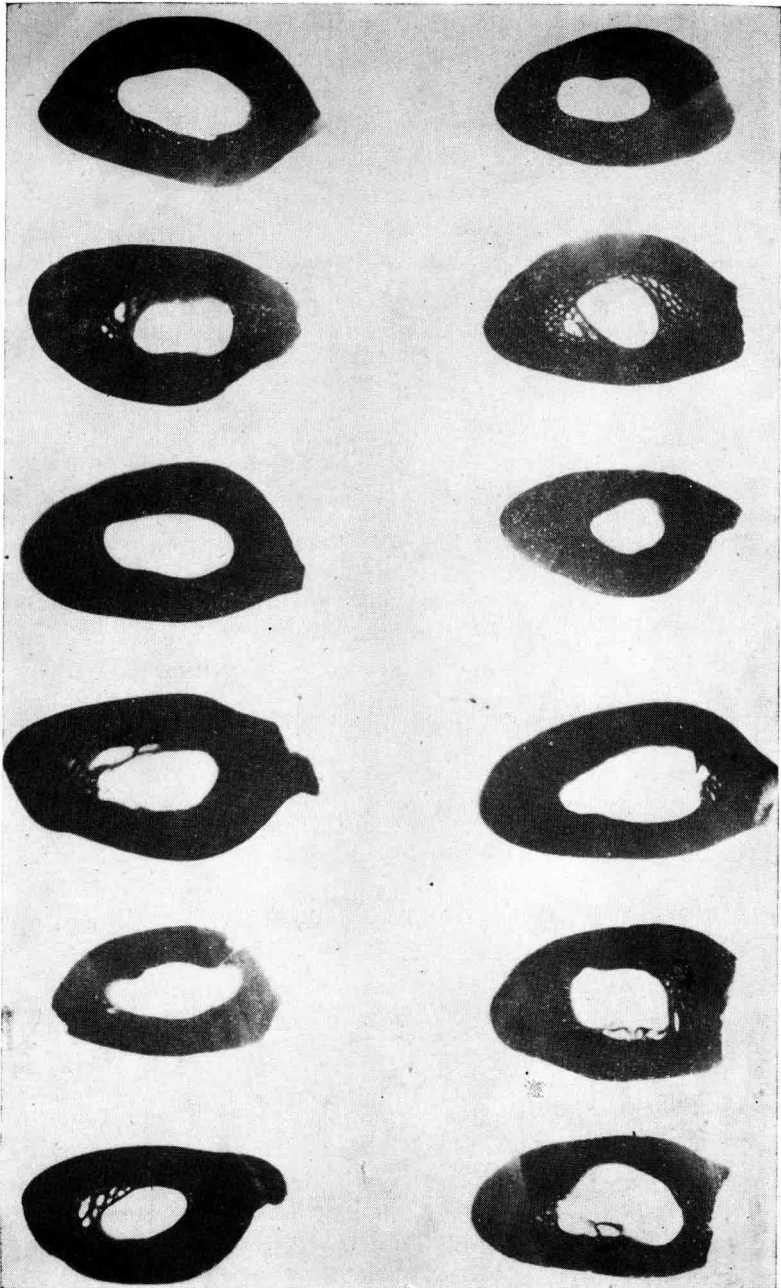


FIG. 1. — Radiographies de coupes transversales au niveau de la portion moyenne de la branche du maxillaire inférieur chez 12 vaches, montrant les variations du diamètre de l'os et du canal médullaire, et divers degrés de raréfaction osseuse.

Le poids de ces rondelles d'os frais varie de 0,5 à 2 g suivant l'épaisseur et le diamètre de l'os, et celui de la moelle (fig. 1).

Le phosphore et le calcium sont dosés séparément sur chacune des trois rondelles. Le dosage effectué sur l'os non desséché représente une estimation indirecte du degré de minéralisation de l'os (OTTO 1938) ; en effet, si l'on opère sur de l'os desséché à 100°, on doit, pour connaître le degré de minéralisation, calculer le pourcentage d'eau disparue au cours de la dessiccation, sans être certain d'ailleurs que la dessiccation a été complète, étant donné la densité du tissu osseux.

La minéralisation peut être effectuée par méthode nitro-perchlorique ou par voie sèche. Dans les deux cas, il est nécessaire de concasser l'os préalablement à la minéralisation. Le dosage de Ca et P est effectué selon les méthodes décrites plus haut, en opérant sur 2 cc pour le Ca et 0,5 cc pour le P, d'une dilution à 1 p. 2500.

4° *Calculs statistiques.*

Ces calculs sont effectués selon CHAMBERS.

PRÉLÈVEMENT ET ÉCHANTILLONNAGE. INFLUENCE DE LA COULEUR DES POILS SUR LA TENEUR EN Ca ET P

On distingue deux types de poils chez les bovins : les poils vrais et les crins. Les crins (de la queue, du garrot), les poils du chignon, ou toupet, sont toujours assez longs pour être aisément coupés aux ciseaux. Il n'en est pas de même des poils du reste du corps, qui sont parfois extrêmement courts, et qui ne peuvent alors être prélevés qu'au rasoir mécanique. L'arrachage, qui permet d'obtenir la totalité du poil, est facile en période de mue ; il est malaisé en dehors de ces périodes, et difficile sur les poils du type crin, du toupet ou du garrot : dans ces régions, l'arrachage entraîne des réactions de défense gênant l'obtention en série et rapide de prélèvements suffisamment abondants. C'est pourquoi, pratiquement, nous préférons, soit couper aux ciseaux les poils suffisamment longs, soit raser à sec les poils courts. En ce qui concerne les poils vrais, la surface à raser pour obtenir une quantité suffisante de poils varie, suivant la longueur de ceux-ci de 10 à 15 cm au carré.

1° Variations de la teneur en Ca et P en fonction du niveau du poil

Les poils qui sont coupés aux ciseaux doivent l'être au ras de la peau, avec des ciseaux courbes, car il existe des variations de la teneur en Calcium en fonction du niveau du poil.

Les mèches de poils du toupet coupés au ras de la peau ont une longueur variant de 4 à 8 cm. Afin d'étudier la variation de la teneur en Ca et P en fonction du niveau du poil, les mèches sont coupées approximativement au milieu de leur longueur. On a dosé séparément le Ca et P sur la moitié inférieure et la moitié supérieure des mèches.

TABLEAU V
Influence du niveau du poil sur la teneur en Ca et P. (1)

Poils noirs (toupet Hollandaises)										
	Sujet 1		Sujet 2		Sujet 3		Sujet 4		Sujet 5	
	Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P
Base	1,62	0,18	2,20	0,12	2,60	0,24	1,93	0,19	2,48	0,29
Sommet	2,25	0,18	2,64	0,15	3,68	0,25	2,51	0,20	2,56	0,30
Différence.....	+ 0,63	+ 0,00	+ 0,44	+ 0,03	+ 1,08	+ 0,01	+ 0,58	+ 0,01	+ 0,08	+ 0,01
%	+ 39 %		+ 20 %		+ 42 %		+ 30 %		+ 4 %	

Poils blancs (toupet Normandes)						
	Sujet 1		Sujet 2		Sujet 3	
	Ca	P	Ca	P	Ca	P
Base	0,80	0,18	0,30	0,16	0,49	0,19
Sommet	1,0	0,16	0,63	0,17	0,83	0,20
Différence	+ 0,20	- 0,02	+ 0,33	+ 0,01	+ 0,34	+ 0,01
%	+ 25 %		+ 110 %		+ 70 %	

(1) Les taux de Ca et P sont exprimés en p. 1000 du poids sec.

TABLEAU VI
Variations topographiques de la teneur en Ca et P dans une même région du corps. (1)

(Toupet Hollandaises)								
	Gauche		Centre		Droit		Moyenne	
	Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P
Poils noirs :								
Sujet n° 1.....	3,22	0,25	2,58	0,20	2,70	0,19	2,83	0,21
" " 2.....	1,94	0,28	2,0	0,22	2,51	0,34	2,15	0,28
" " 3.....	2,94	0,27	2,86	0,31	2,78	0,28	2,86	0,28
" " 4.....	1,44	0,27	2,0	0,23	1,65	0,22	1,69	0,24
" " 5.....	2,92	0,20	3,05	0,23	2,63	0,35	2,63	0,26
" " 6.....	1,96	0,23	2,30	0,29	2,24	0,23	2,16	0,25
(Toupet Normandes)								
Poils blancs :								
Sujet n° 1.....	0,69	0,12	0,67	0,13	0,92	0,15	0,76	0,13
" " 2.....	0,76	0,13	0,55	0,16	0,54	0,16	0,61	0,15
" " 3.....	0,77	0,16	0,70	0,18	0,66	0,16	0,71	0,16
" " 4.....	0,56	0,18	0,48	0,18	0,45	0,18	0,49	0,18

(1) Les teneurs en Ca et P sont exprimées en p. 1000 du poids sec.

On observe dans la majorité des cas (tableau V) une augmentation notable de calcium de la base vers l'extrémité du poil ; l'augmentation moyenne est de 42 p. 100. Les variations du phosphore sont très faibles et sans signification. Nous envisagerons plus loin (voir page 27) les causes possibles de cette augmentation du calcium vers le sommet du poil.

2° Variations pour des poils de même couleur dans une même région du corps

On verra par la suite que c'est dans la région du toupet que le prélèvement de poils présente le maximum d'avantages. Il importe donc de savoir quelles peuvent être les variations de la composition en Ca et P du poil en fonction de la région du toupet qui a été prélevée. Pour cela, nous avons prélevé séparément des mèches de poils à gauche, au centre et à droite du chignon. On observe dans certains cas (tableau VI) une hétérogénéité assez importante au niveau de la région du toupet ; il est donc nécessaire de prélever des mèches dans les trois régions du toupet pour avoir un échantillonnage moyen représentatif de cette région. Cette hétérogénéité tient probablement, pour une part, au phénomène de mue qui, au niveau du toupet, n'est pas saisonnier (ARZOUMANION), mais intéresse nécessairement le toupet comme toute partie du système pileux (CHASE).

3° Variations en fonction de la couleur des poils

Ces variations seront envisagées successivement en comparant des poils de couleurs différentes d'une même région d'un même animal, et en comparant des poils de couleurs différentes d'une même région chez des animaux de races différentes.

a) Poils de couleurs différentes d'une même région chez un même animal.

TABLEAU VII (1)

Influence de la couleur des poils sur la teneur en Ca et P.

	Noirs		Blancs	
	Ca	P	Ca	P
Épaule Hollandaise.....	2,88	0,20	0,56	0,15
Épaule Hollandaise.....	4,34	0,17	0,87	0,15
Toupet Hollandaise (noirs) et étoile frontale (blancs).....	3,17	0,25	0,63	0,15
	Rouges			
	Ca	P	Ca	P
Épaule Normande.....	2,18	0,26	1,19	0,15

(1) (Les taux de Ca et P sont exprimés en p. 1000 du poids sec).

Chez un même animal, et pour des poils de même région, les poils blancs ont donc une teneur en Ca et P notablement inférieure à celle des poils de couleur (tableau VII).

**b) Poils de couleurs différentes d'une même région
chez des animaux différents (tableau VII).**

Nous avons utilisé pour cette comparaison des valeurs de Ca et P obtenues sur des animaux d'abattoir, chez qui nous avons dosé le Ca et P des poils du toupet (Noirs pour les Hollandaises, blancs pour les Normandes) et de l'épaule (Noirs pour les Hollandaises, rouges pour les Normandes). La comparaison des teneurs moyennes en Ca et P est effectuée pour des poils de même région, afin d'éviter l'influence de la variation topographique.

TABLEAU VIII

*Variations de la teneur des poils en Ca et P
en fonction de la couleur.*

Hollandaises				Normandes			
Toupet (noir)		Épaule (noir)		Toupet (blanc)		Épaule (Rouge)	
Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P
1,74	0,23	0,50	0,20	0,55	0,16	1,84	0,18
2,72	0,26	3,80	0,35	0,39	0,13	1,07	0,27
2,20	0,20	2,16	0,19	0,82	0,15	1,30	0,14
2,88	0,23	1,64	0,24	0,44	0,17	1,68	0,26
2,50	0,32	2,14	0,26	0,25	0,19	2,48	0,18
2,28	0,29	2,66	0,27	1,05	0,16	1,06	0,24
2,20	0,27	1,92	0,27	0,46	0,14	1,28	0,20
2,76	0,20	2,84	0,22	0,48	0,14	1,42	0,14
2,98	0,28	2,48	0,25	0,80	0,16	1,28	0,24
2,47	0,25	2,23	0,26	0,58	0,15	1,50	0,21
Ca blanc = 0,58		Ca noir = 2,47 = 0,23		P blanc = 0,15		P noir = 0,25 = 0,60	
Ca rouge = 1,50		Ca noir = 2,23 = 0,67		P rouge = 0,21		P noir = 0,26 = 0,80	

En comparant la teneur en Ca et P des poils blancs du toupet des vaches Normandes à la valeur de Ca et P des poils noirs du toupet des Hollandaises, et en attribuant à ces dernières la valeur 100, le rapport est :

$$\frac{\text{Ca Poils blancs}}{\text{Ca Poils noirs}} = 23 \%$$

$$\frac{\text{P Poils blancs}}{\text{P Poils noirs}} = 60 \%$$

La comparaison entre poils rouges et poils noirs de l'épaule donne les rapports :

$$\frac{\text{Ca Poils rouges}}{\text{Ca Poils noirs}} = 67 \%$$

$$\frac{\text{P Poils rouges}}{\text{P Poils noirs}} = 80 \%$$

Si l'on compare les taux de Ca et P avec le pouvoir d'absorption de l'énergie solaire par les poils de différentes couleurs, et le taux de mélanine correspondant (tableau IX), en attribuant la valeur conventionnelle de 100 au poil noir, on observe que la teneur en Ca et P décroît, du noir au blanc, parallèlement à la diminution du pouvoir d'absorption de l'énergie solaire et du taux de mélanine, cette diminution étant plus accusée pour le calcium que pour le phosphore.

TABLEAU IX

Relations entre la teneur en Ca et P, le pouvoir d'absorption de l'énergie solaire et le taux de mélanine de poils de couleurs différentes.

	Absorption de l'énergie solaire par des poils de couleurs différentes				Teneur en mélanine (WASHBURN et Coll.)		Teneur des poils en Ca P	
	RIEMERSCHMIDT et ELDER		(STEWART)					
Noir	89 %*	100**	92 %*	100**	8 %*	100**	100**	100**
Rouge	78 %	87	67 %	73	3,9 %	49	67	80
Blanc	49 %	55	40 %	43	1,8 %	22,5	23	60

(*) Valeur absolue.

(**) Valeurs relatives, par rapport au poil noir = 100.

La diminution du taux de calcium est parallèle à celle du taux des cendres, dont le Ca représente une fraction importante.

	Cendres (p. 1000)	Ca (p. 1000)	P (p. 1000)	Ca (p. 100 par rapport aux cendres)	P (p. 100 par rapport aux cendres)
Poils noirs (Toupet Hollandaises)...	8,5	2,50	0,24	29,5	2,8
Poils roux (Toupet Limousines) ...	8,0	1,92	0,20	24,0	2,5
Poils Blancs (Toupet Pie-Rouges) ..	3,5	1,25	0,20	35,5	5,7

Divers mécanismes peuvent être envisagés pour expliquer cette dépendance du taux de Ca et P vis-à-vis de la couleur du poil.

L'action de la lumière sur le poil est très importante :

1° L'augmentation de la durée d'éclairement solaire ou artificiel accélère la mue et inhibe la pousse des poils (YEATES).

2° Diverses caractéristiques des poils varient en fonction de la pré-

sence ou de l'absence de pigmentation. Selon ARZOUMANION, CSUKAS, les poils pigmentés sont en nombre inférieur par unité de surface, leur longueur et leur diamètre sont inférieurs à ceux des poils blancs. Le canal médullaire des poils blancs est plus développé que celui des poils noirs. Une différence dans la proportion respective de la moelle et du cortex des poils pourrait donc jouer un rôle dans la mesure où le calcium et le phosphore sont localisés plutôt dans l'une que dans l'autre de ces structures. Ce problème sera envisagé ultérieurement (voir page 30).

3° Une plus grande absorption de l'énergie solaire par les revêtements pileux pigmentés pourrait avoir pour conséquence une vasodilatation périphérique entraînant un passage accru de calcium au niveau du bulbe pileux ; il a été démontré notamment que les rayons X concentrent le calcium autour du follicule pileux (LUEBER). Il est toutefois difficile d'analyser le rôle des radiations solaires, car les variations d'insolation sont associées à des modifications du régime alimentaire, à une synthèse accrue en vitamine D, qui peuvent interférer avec l'action spécifique vaso-dilatatrice de l'irradiation solaire sur la teneur des poils en Ca et P.

Quoiqu'il en soit, il apparaît évident qu'étant donné les grandes variations de la teneur en Ca et P en fonction de la couleur des poils, il importe d'effectuer des mesures sur des prélèvements de poils de même couleur pour que la comparaison entre animaux d'une même race soit valable.

4° Autres facteurs de variation

La présente étude a été limitée aux vaches laitières adultes de race Hollandaise pie-noire. Nous avons donc volontairement éliminé, dans cette analyse, des facteurs qui jouent sans aucun doute un rôle important sur la teneur des poils en phosphore et calcium, tels que la croissance, le sexe.

Nous examinerons dans la suite de ce travail les relations entre la teneur en Ca et P des poils et : 1° la phosphatémie et la calcémie ; 2° les réserves osseuses en Ca et P ; 3° l'alimentation minérale ; 4° la gestation, la lactation, l'âge ; 5° la fécondité.

IV. — RELATION ENTRE LA CALCÉMIE, LA PHOSPHATÉMIE ET LA TENEUR EN Ca ET P DES POILS

Nous n'avons pu utiliser pour cette étude que deux génisses hollandaises, qui avaient dix-huit mois au début de l'expérience. Les caractéristiques principales de la vie de ces deux animaux (alimentation, conditions d'entretien, courbe de poids, cycle reproductif) au cours de la période expérimentale sont précisées sur la figure 2.

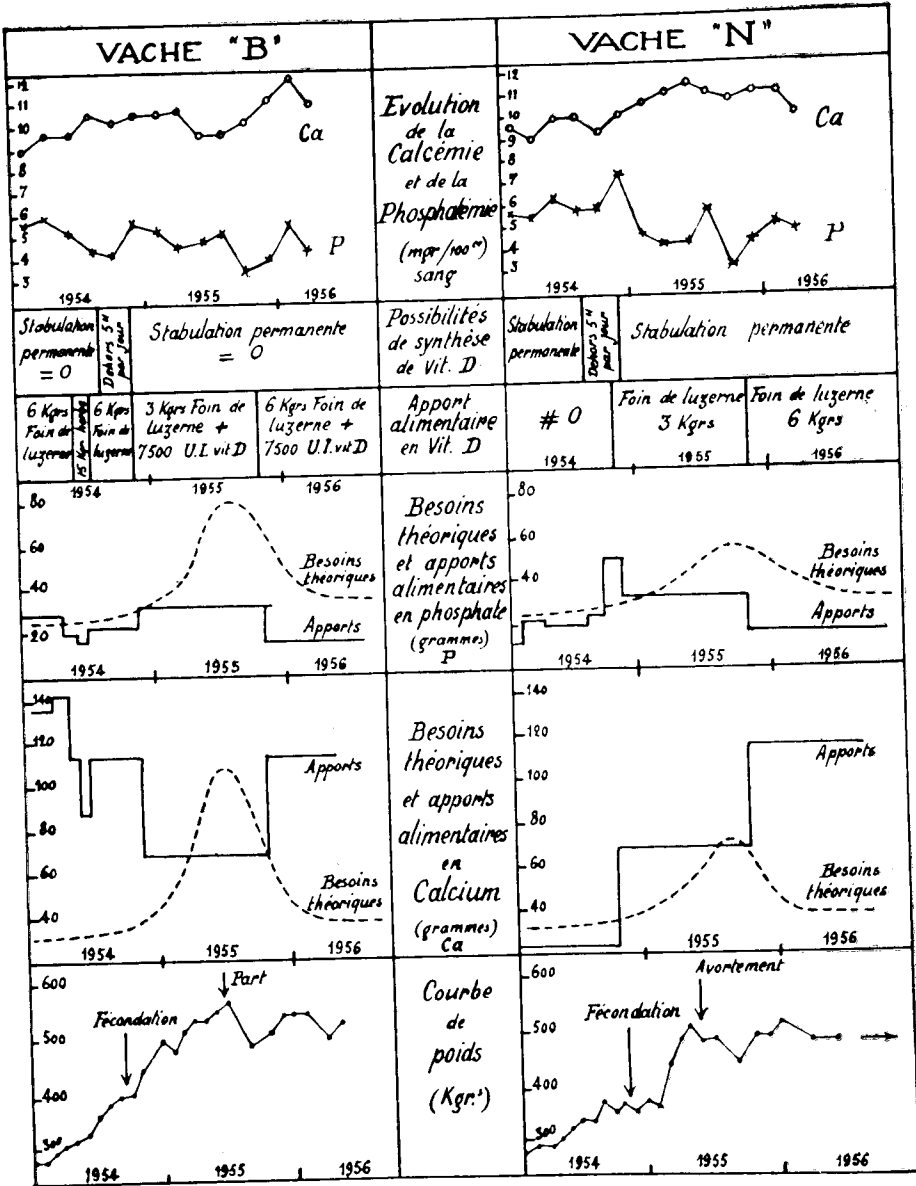


FIG. 2. — Conditions d'entretien des génisses au cours de la période expérimentale.

On notera, de haut en bas :

1) Évolution de la calcémie et de la phosphatémie

Chaque point des courbes d'évolution de la calcémie et de la phosphatémie, exprimée en mg pour 100 cc de sang ou de sérum, représente la moyenne de 8 mesures effectuées au cours de deux mois (voir fig. 3 à 6 pour les détails de ces courbes).

Ces deux vaches ont été soumises à des conditions alimentaires très différentes, et qui ont varié dans le temps, afin de provoquer des modifications positives et négatives importantes de la calcémie et de la phosphatémie, susceptibles de se traduire dans les poils (fig. 2).

Ces génisses ont été étudiées pendant deux ans et demi ; le sang a été prélevé le matin à jeun, à raison de 3 ou 4 prélèvements par mois, les prélèvements étant espacés de 10 jours ou une semaine. Les courbes de calcémie et de phosphatémie ont été dressées à partir des moyennes mensuelles de 3 ou 4 valeurs du Ca et P minéral sanguin obtenues chaque mois. Nous avons prélevé à intervalles variant de 1 à 3 mois des poils noirs de deux régions ; à l'épaule, dont les poils muent suivant un rythme saisonnier, et au toupet, dont les poils ne muent pas de façon saisonnière (ARZOUMANION).

A l'examen des figures 3, 4, 5, 6, on peut observer les faits suivants :

1° Les variations de la teneur en Ca et P des poils des deux régions sont, le plus souvent, sans rapport entre elles.

2° L'amplitude des variations de la teneur en Ca et P des poils de l'épaule est, en général, très supérieure à celle des poils du toupet.

3° Les variations de la teneur en Ca et P des poils du toupet sont, dans l'ensemble, parallèles à celles de la calcémie, ou de la phosphatémie, mais décalées d'environ deux mois, alors que celles des poils de l'épaule paraissent indépendantes des variations du Ca et P sanguin.

2) Possibilités de synthèse en vitamine D.

A part une courte période d'insolation de 5 heures par jour en août-septembre 1954, les deux génisses ont été entretenues en stabulation permanente, et par conséquent, à part cette courte période, les possibilités de synthèse ont été nulles.

3) Apports alimentaires en vitamine D.

La ration des deux génisses a été composée, avec des variantes suivant le moment, de pulpe sèche, de son à certains moments, de foin de luzerne et de paille, dont les teneurs en Ca et P ont été dosées. Seuls les apports en foin de luzerne, qui sont susceptibles d'apporter de la vitamine D en quantités notables, ont été figurés sur le tableau. On remarquera que la vache « B » a reçu pendant les deux derniers tiers de la période expérimentale une quantité de vitamine D pure couvrant les besoins théoriques, alors que la vache « N » a été pratiquement carencée pendant toute la période expérimentale.

4) et 5) Besoins théoriques et apports alimentaires en Phosphore et Calcium.

Ces besoins ont été calculés en fonction des normes précisées page 36, en tenant compte des besoins d'entretien, de croissance, de gestation et de production laitière.

En dehors des 1 à 2 mois précédant et suivant le part, période où il y a eu carence associée en Ca et P, la vache « B » a reçu un excès de Ca et a été presque constamment carencée en P. La vache « N » a été presque constamment carencée en P également, à part une courte période d'un mois, en novembre 1954 ; les apports calciques pour cette vache ont été déficitaires pendant les 10 premiers mois de 1954, puis excédentaires ; cette vache a avorté au 7^e mois de gestation. A cette époque, l'apport calcique était devenu insuffisant du fait de la production laitière, puis les apports calciques ont été de nouveau augmentés, et sont devenus nettement excédentaires par rapport aux besoins théoriques.

6) Courbe de poids.

On a observé chez les deux génisses, qui avaient le même poids au départ, une nette différence dans le gain de poids.

Il nous semble donc raisonnable d'admettre que seuls, les poils du toupet, qui ne muent pas de façon saisonnière, comme ceux de l'épaule, peuvent être utilisés pour étudier le métabolisme phosphocalcique, dans la mesure où ils reflètent approximativement les variations de la phosphatémie et de la calcémie. Cette différence de comportement entre

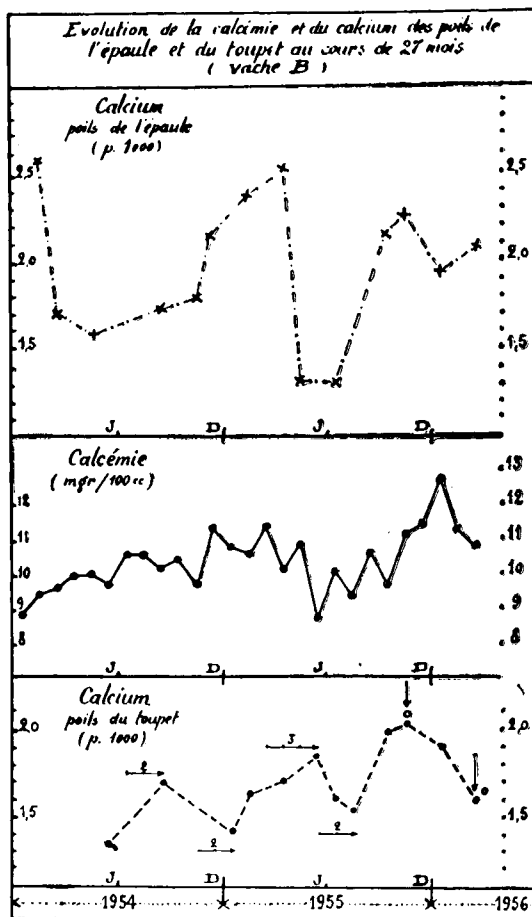


FIG. 3.

poils à mue saisonnière et poils à mue non saisonnière tient sans doute au fait que les premiers ont un cycle de croissance active, suivi d'une phase d'arrêt de croissance, alors que les seconds présentent des cycles de croissance plus longs, n'intéressant pas tous les poils au même moment ; il en résulte qu'à tout moment il y a au toupet des poils en croissance, susceptibles par suite de refléter de façon continue les conditions de nutrition.

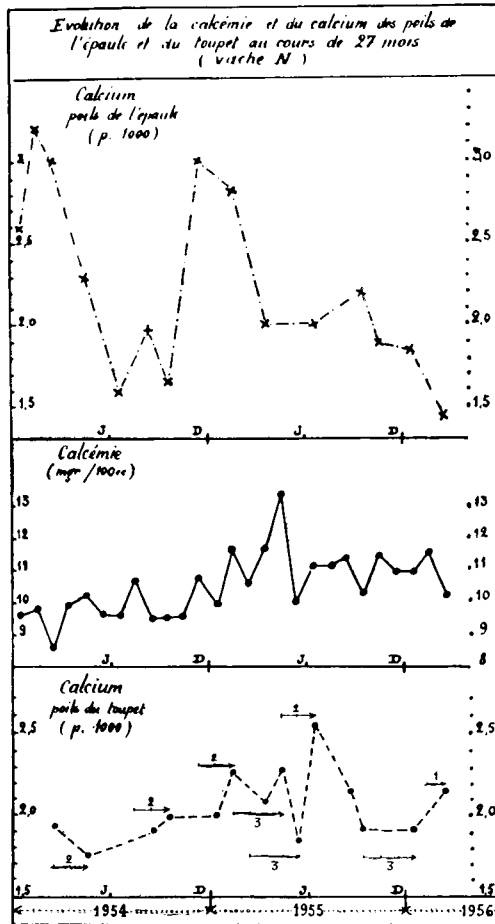
A cet égard, deux points méritent une attention particulière.

1° Le temps de latence avec lequel les poils traduisent les modifications sanguines.

2° La proportionnalité avec laquelle ces modifications sont traduites dans les poils.

a) **Temps de latence** (fig. 3, 4, 5, 6).

Ce temps de latence varie de 1 à 3 mois et est, en moyenne, de deux mois. Il est vraisemblable que ce temps a été plus court dans les condi-



tions de notre expérience, où les poils ont été soumis à des coupes assez fréquentes, provoquant ainsi une pousse plus rapide, que lorsque les poils n'ont pas été coupés récemment ; dans ce dernier cas, le prélèvement doit refléter une période nutritionnelle de plus longue durée.

En effectuant sur un animal un prélèvement de poils tous les deux

mois, ce qui correspond à huit ou dix prises de sang, on peut donc apprécier de façon satisfaisante l'évolution de sa calcémie et de sa phosphatémie. Il reste évidemment à démontrer sur un plus grand nombre d'animaux la généralité d'une telle relation, qui permettrait de déduire, dans le cadre de chaque race, à partir des valeurs du Ca et P des poils, les valeurs correspondantes de la calcémie et de la phosphatémie.

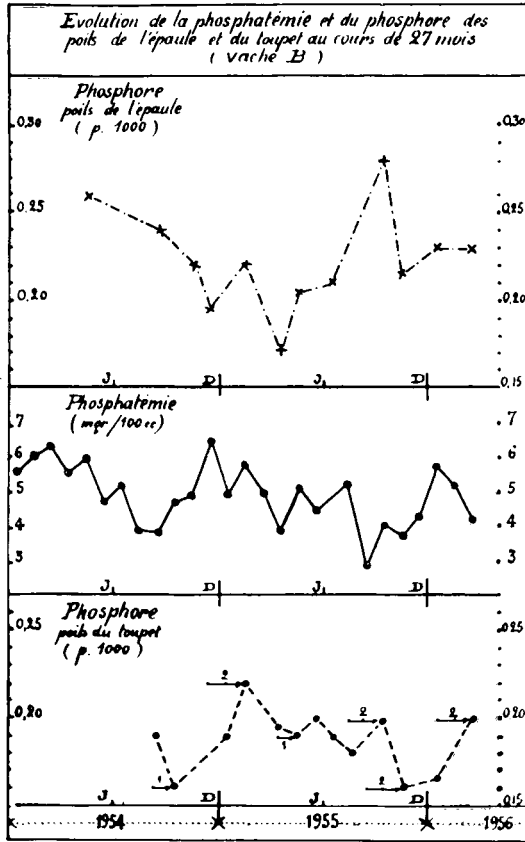


FIG. 5.

b) Proportionnalité entre les valeurs de la calcémie, de la phosphatémie et le taux de Ca et P des poils du toupet.

Sur le tableau X sont figurés les points caractéristiques (maximum et minimum) des courbes d'évolution de la calcémie et de la phosphatémie, et les valeurs correspondantes des courbes d'évolution de Ca et P des poils du toupet, qui sont en général décalées, par rapport aux premières, d'environ deux mois.

La figure 7 met en évidence une relation linéaire étroite entre le P

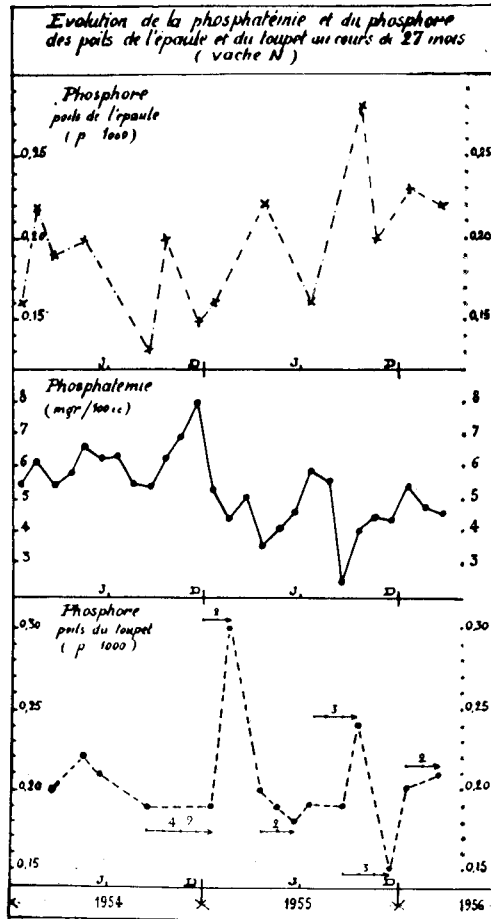


FIG. 6.

FIG. 3 4 5 6. (Les flèches horizontales indiquent le temps de latence entre le minima et les maxima l'évolution de la phosphatémie et de la calcémie, et leur traduction dans les poils).

TABLÉAU X

Correspondance entre les valeurs de la calcémie et de la phosphatémie et les valeurs de Ca et P des poils.

VACHE "B"				VACHE "N"			
P sang *	P poils **	Ca sang *	Ca poils**	P sang *	P poils **	Ca sang *	Ca poils**
3,8	0,16	10,6	1,70	5,8	0,19	9,2	1,74
6,5	0,22	9,7	1,42	8	0,30	9,5	2,0
4	0,19	11,3	1,84	3,5	0,18	11,5	2,46
5	0,20	8,7	1,53	5,9	0,23	13,6	2,54
2,8	0,16	10,6	1,98	2,5	0,15	10	1,93
5,8	0,20	12,7	1,90	5,4	0,21	11,5	2,14

(*) mg/100 cc sang ou sérum,
 (**) p. 1 000 poids sec.

des poils du toupet et la phosphatémie, et une relation moins étroite, mais néanmoins évidente, entre la calcémie et le calcium des poils. On peut donc affirmer qu'il y a, dans les conditions de notre expérience, traduction proportionnelle dans les poils du toupet des variations de la calcémie et de la phosphatémie.

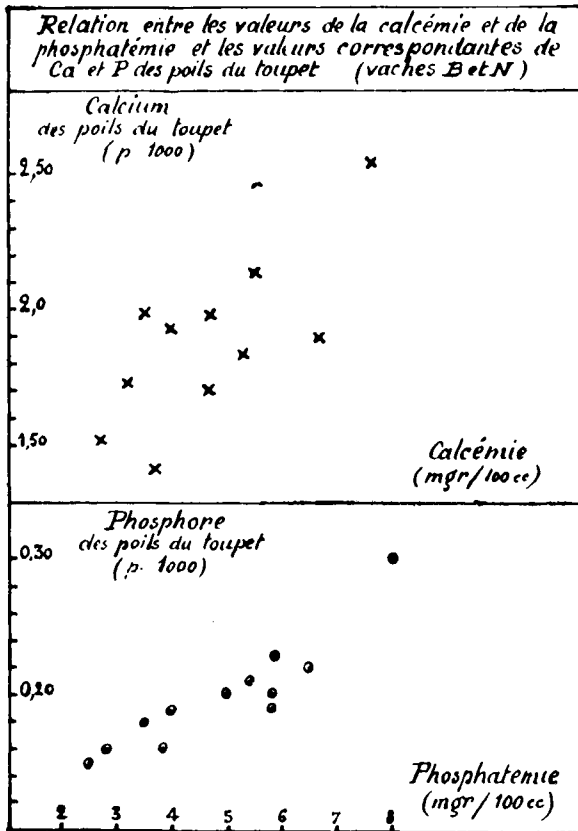


FIG. 7.

V. — LOCALISATION, ROLE ET ORIGINE DU Ca ET P DES POILS

Nous avons vu précédemment :

1° Que la teneur en Ca augmentait de la base vers l'extrémité du poil, cependant que le taux de P restait pratiquement inchangé.

2° Que les taux de Ca et P augmentaient avec le pouvoir d'absorption de la lumière solaire par les différentes couleurs du poil.

3° Que les taux de Ca et P des poils du toupet, qui ne muent pas de façon saisonnière, varient parallèlement à la calcémie et à la phosphatémie.

On doit se demander en particulier pourquoi les poils du toupet paraissent refléter de façon relativement fidèle les variations de la calcémie et de la phosphatémie, ce qui semblerait indiquer que le poil se comporte comme un réceptacle passif du Ca et du P sanguins.

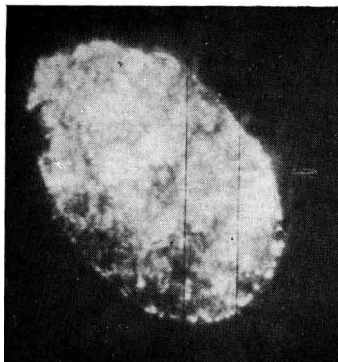


FIG. 8. — Poil noir (coupe microincinérée).

Afin de voir quelle peut être la localisation du calcium dans le poil, nous avons effectué une microincinération de poils, selon la technique de LANGERON, sur des coupes de poils blancs et de poils noirs, réalisées selon la technique de ROUGEOT (fig. 8, 9). On observe que les substances miné-

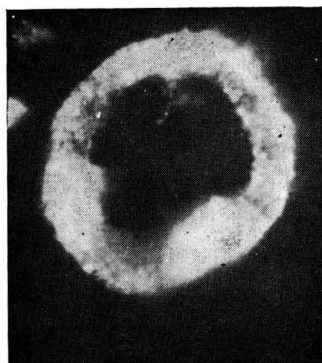


FIG. 9. — Poil blanc (coupe microincinérée).

rales sont absentes de la moelle, laquelle est très développée dans les poils blancs (fig. 10), et le plus souvent absente, ou très peu développée, dans les poils noirs (fig. 11). La concentration de substance minérale est élevée dans le cortex, et maximum dans la cuticule. On peut admettre que la localisation du calcium suit cette répartition ; il est en tout cas certain que le calcium est absent de la moelle, et localisé essentiellement dans le cortex de kératine. L'absence de calcium dans la moelle peut expliquer la plus faible concentration de celui-ci dans les poils blancs, à

développement médullaire important. Un autre facteur pouvant s'ajouter à ce dernier, et expliquer la forte concentration de Ca dans les poils colorés est une action vasodilatatrice des radiations solaires, liée aux phénomènes de thermo-régulation, sur le système capillaire sous-cutané, pouvant entraîner un plus fort passage de calcium des capillaires vers le bulbe pileux. Une telle action a été démontrée dans le cas des rayons X (LUE-



FIG. 10. — Coupes de poils blancs.

BER). En ce qui concerne le rôle éventuel du calcium dans le squelette kératinique du poil, on peut émettre les hypothèses suivantes :

1^o CARRUTHERS et SUNTZEFF ont signalé le taux élevé de calcium de l'épiderme de la souris (0,4 p. 1000 du poids frais, soit 4 fois le taux du calcium sérique) et de l'homme (0,18 p. 1000, soit 2 fois le taux sérique). Le calcium épidermique se trouve particulièrement concentré dans les granules de kératohyaline ; le calcium ultrafiltrable de l'épiderme ne représente que 38 p. 100 du Ca total, et une proportion importante est donc sous forme liée. On sait que le calcium donne de la stabilité et de l'adhérence aux surfaces cellulaires, et il a été suggéré que le calcium est probablement associé au processus de kératinisation. Il n'est donc pas

étonnant de constater que la teneur en Ca du poil qui est une structure uniquement kératinique et déshydratée, soit si élevée (6 fois celle du sang pour le poil blanc, et 26 fois pour le poil noir). Chez l'homme, GOLDBLUM, DERBY et LERNER ont observé également une concentration plus élevée de calcium dans les cheveux que dans la peau : de 0,7 à 4,9 p. 1000 dans les cheveux, contre 0,012 à 0,49 p. 1000 dans la peau (poids sec), soit au minimum dix fois plus de Ca dans les cheveux que dans la peau.

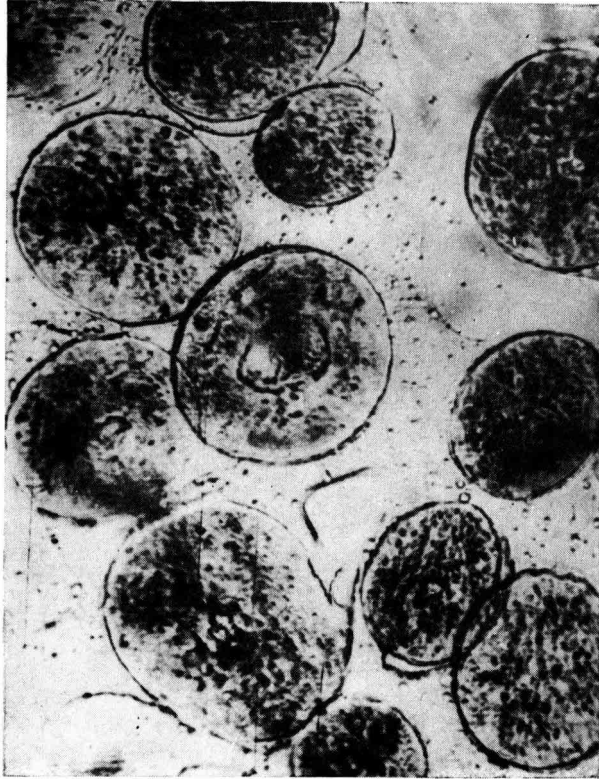


FIG. 11. — Coupes de poils noirs.

2° On est donc amené à considérer que le calcium du poil n'est peut-être pas uniquement un élément passif, qui est en quelque sorte filtré dans le poil, mais aussi un élément de structure important. Il se pourrait, en d'autres termes, que la kératine, qui physiologiquement contient du Ca, soit susceptible d'accepter du Ca dans des limites assez étendues, car on ne voit pas, s'il n'en était pas ainsi, comment la teneur en Ca du poil pourrait refléter de façon relativement fidèle la teneur en Ca du sang.

L'augmentation de la teneur en Ca vers le sommet du poil est sans doute due à la disparition progressive des cellules médullaires, peu kératinisées vers l'extrémité du poil, si bien que, pour un même poids de poils,

le rapport poids des cellules médullaires/poids des cellules corticales est plus élevé à la base du poil qu'au sommet.

Le calcium du poil ne peut, en principe, provenir que de la fraction diffusible, physiologiquement utile, du calcium sérique. Par conséquent, la détermination du Ca du poil représente une mesure indirecte de cette fraction.

En ce qui concerne le rôle et la localisation du phosphore, BERN a montré que le radiophosphore injecté à dose massive par voie intraveineuse chez la souris est retrouvé 8 heures après l'injection dans le bulbe pileux, et 24 heures après dans la zone kératogène. On trouve également de légers dépôts de radiophosphore au-dessus de la zone kératogène, et, selon BERN, ces dépôts correspondent aux résidus d'acides nucléiques véhiculés par les cellules dérivant du bulbe. Le phosphore devrait donc conditionner l'activité mitotique des cellules du bulbe pileux. Cette hypothèse est en accord avec l'observation de WHITELEY, STONER et THREFALL qui ont montré que, chez le lapin, les zones du pelage où les poils poussent de façon active absorbent beaucoup plus de radiophosphore que les régions en repos.

Nous avons effectué sur des coupes de poils la détection histochemique du phosphore selon la technique d'ANGELI. Le phosphore paraît concentré principalement au niveau de la cuticule ; on observe, de plus, une légère coloration bleu-vert, au niveau de la limite cortico-médullaire. On n'observe aucune réaction positive dans la moelle. Le phosphore présent au niveau de la cuticule n'est probablement pas nucléinique, car la concentration paraît trop élevée pour être due uniquement à l'acide nucléique. Il est possible que le phosphore de la cuticule fasse partie de molécules de phospho-lipides. Ceci serait en accord avec le fait que le lavage prolongé des poils à l'éther fait disparaître une partie importante du phosphore (KAHANE 1953), fait que nous avons également observé ; il est vraisemblable que les phospho-lipides du sébum sont la source principale de ce phosphore cuticulaire. L'étroite interdépendance entre la phosphatémie et le P total du poil, dont la majeure partie paraît être phospholipidique, indique peut-être que la sécrétion de sébum est étroitement dépendante du taux du P inorganique sérique. Ceci permettrait peut-être d'expliquer pourquoi dans l'aphosphorose avec pica et hypophosphatémie les poils prennent très rapidement un aspect terne et hirsute.

(à suivre)