**INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS ALIMENTAIRES,
SAISONNIERS ET ENDOCRINIENS
SUR LE MÉTABOLISME DE Ca, P, K, Na
CHEZ 2 COUPLES DE JUMELLES
BOVINES UNIVITELLINES**

PAR

M. BROCHART, P. LARVOR et B. VISSAC (1).

Laboratoires de recherches de Zootechnie.

École nationale vétérinaire, Alfort
et Institut national agronomique, Paris.

PLAN DU MÉMOIRE

- I. — Introduction.**
 - II. — Matériel et méthodes.**
 - III. — Résultats.**
 - A. Généralités. Interprétation statistique globale.
 - B. Influence des facteurs saisonniers.
 - C. Influence des facteurs alimentaires.
 - D. Relations entre les variables sanguines, urinaires et fécales.
 - E. Relations entre la composition des poils et les autres variables.
 - F. Généralisation des résultats obtenus.
 - IV. — Discussion générale.**
 - V. — Résumé.**
-

I. — INTRODUCTION

L'étude globale du métabolisme minéral des bovins est une entreprise difficile, et qui nécessite généralement la mise en œuvre de moyens importants. La méthode des bilans exige une main d'œuvre abondante et un minimum d'installations techniques. De plus, une étude critique serrée de cette méthode (DUNCAN, 1958) montre que, lorsqu'elle est poursuivie pendant une période de plusieurs mois, les chiffres de rétention obtenus sont sans rapport avec la réalité.

(1) Avec la collaboration technique de M^{me} N. BERTHELOT, et de M. C. ROTH.
Remis pour publication en Juillet 1959.

Pour ces deux raisons, une étude du métabolisme minéral portant sur une année ne pouvait être envisagée par la méthode des bilans. Un travail préliminaire sur le rythme nycthéméral de la concentration urinaire et fécale des bovins (LARVOR et BROCHART, 1959) nous a permis d'établir qu'une mesure qualitative de concentration minérale urinaire et fécale, effectuée sur un échantillon prélevé à une heure où les variations de concentration sont faibles, permet de se faire une idée très approximative, mais néanmoins intéressante, du niveau d'élimination des minéraux dosés.

Une autre voie d'approche dans l'exploration du métabolisme minéral peut être cherchée dans l'analyse directe de l'organisme animal, ou d'une fraction représentative et aisément prélevable de cet organisme. On connaît depuis longtemps l'intérêt que présente l'étude des variations de la composition sanguine ; cette méthode a cependant l'inconvénient de ne refléter bien souvent qu'un aspect très fugace du métabolisme minéral, et demande à être complétée par l'analyse d'une fraction plus stable de l'organisme, susceptible de caractériser une période nutritionnelle plus longue.

L'un de nous (BROCHART, 1957) a appliqué l'analyse du calcium et du phosphore du poil à l'étude de la nutrition phosphocalcique de la vache hollandaise ; au cours de la présente étude nous avons essayé d'étendre la méthode au cas de la vache normande, et à d'autres minéraux.

Par ailleurs, il nous a semblé intéressant de préciser un certain nombre de « constantes » biochimiques des bovins, pour lesquelles on ne dispose jusqu'à présent que de renseignements fragmentaires, et qu'il est cependant nécessaire de connaître pour pouvoir délimiter les domaines respectifs des valeurs physiologiques et pathologiques des minéraux plasmatiques.

II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nos recherches ont porté sur deux couples de jumelles univitellines de race normande, qui seront désignées, pour le premier couple, par les chiffres I et III, et, pour le deuxième couple, par les lettres E et S. Au cours des recherches qui sont décrites dans ce travail, l'alimentation a été parfois différente selon les couples, mais identique pour les deux sujets d'un même couple.

Les critères de la gemellité vraie étaient :

— La similitude morphologique étroite (notamment répartition des taches).

— La similitude des courbes de croissance, l'alimentation étant identique à l'intérieur de chaque couple.

— L'identité des groupes sanguins, déterminée par le Laboratoire des Groupes Sanguins des bovidés, de Jouy-en-Josas.

— La ressemblance frappante des courbes de lactation des vaches I et III, malgré un déphasage de 3 semaines dans la date des vélages.

Le couple I-III avait 35 mois au début de l'expérience. Ces vaches ont eu leur premier vêlage en cours d'expérience, la vache I, le 14 février 58 et la vache III, le 3 mars 58. La production laitière mensuelle a été de février à juin 1958, de 15, 15, 14, 13 et 11,5 litres.

Le couple E-S avait 27 mois au début de l'expérience. Du fait d'un retard notable de développement, la saillie a été retardée ; par la suite, nous n'avons pu réussir à obtenir de gestations synchrones, ce qui nous a obligé à provoquer, le 18 mars, chez la vache S (3^e mois de gestation) un avortement, qui a été suivi d'une faible lactation de quelques jours.

Les animaux étaient entretenus en stabulation permanente ; ils recevaient directement la lumière par des fenêtres situées de face. L'abreuvement était automatique. Les repas étaient distribués à 9 heures et à 17 heures, les rations du matin et du soir étant identiques.

Ces animaux ont été suivis toutes les semaines pendant un an, de juin 1957 à juin 1958. La ration a été analysée au point de vue minéral (Ca, P, Na et K) ; les « refus » ayant été pratiquement nuls, la quantité de minéraux absorbés a pu être calculée avec une précision satisfaisante. Le seul élément non contrôlé de la ration a été la quantité de paille ingérée, qui n'a guère dépassé 2 kg, soit des quantités de Ca = 6 g, P = 1,5 g, Na = 0,6 g, K = 10 g, représentant donc une faible fraction de la quantité totale de chaque élément ingéré (respectivement en moyenne, pour Ca, P, Na, K : 6 p. 100, 5 p. 100, 5 p. 100, 10 p. 100).

Les prélèvements étaient faits :

— Pour le sang, à jeun, à 9 heures du matin, par ponction de la jugulaire et remplissage de trois tubes à centrifugation, dont l'un contenait 200 mg de F Na (10 mg par ml de sang), le second une goutte d'héparine pour la préparation du plasma ⁽¹⁾, le troisième, sans additif, était destiné à la récolte du sérum.

Le phosphore minéral était dosé dans le sang fluoruré, le Ca et le P total dans le sérum (suivant des méthodes déjà décrites ; BROCHART, 1957). Le sang hépariné était centrifugé aussi rapidement que possible (20 mn environ) après la récolte, pour éviter les échanges d'électrolytes entre le plasma et les globules, échanges qui sont susceptibles de modifier la teneur du plasma en Na et surtout en K et en Cl (GUILLAUMIN et VIGNES, 1928 ; GUILLAUMIN, 1930 ; DULIERE, 1931 ; LEULIER, 1933 ; HIGOUNET, 1937). Na et K étaient ensuite dosés par spectrophotométrie

(1) Nous tenons à remercier ici les laboratoires Hoffmann La Roche qui nous ont gracieusement fourni l'héparine.

de flamme, après dilution au 1/100 dans de l'eau distillée, et par comparaison avec deux étalons qui encadraient les valeurs les plus couramment trouvées.

— Pour l'urine, prélèvement à 14 heures à l'aide d'une sonde ; dosage de Ca et P.

— Pour les fèces, prélèvement dans la matinée, directement dans le

rectum, deshydratation à l'étuve, broyage, minéralisation 16 heures à 550°, et dosage de Ca et P.

Une étude préalable (LARVOR et BROCHART, 1959) nous a montré que les résultats des dosages des prélèvements réalisés aux heures indiquées étaient en corrélation hautement significative avec la moyenne du nycthémère. Les données obtenues ont été comparées avec les conditions météorologiques principales (température, pression atmosphérique, durée du jour, hygrométrie), qui nous ont été fournies par l'Observatoire Géophysique du Parc Saint Maur, dont le microclimat se rapproche beaucoup du nôtre ⁽¹⁾.

Le poil du chignon, de couleur blanche, était prélevé tous les deux mois, et dosé pour Ca, P, K, Na, Mg.

Nous nous sommes aperçus, en cours d'expérience, que la technique de lavage des poils par le lauryl sulfate d'ammonium entraînait des pertes de cations importantes. Cependant, nous l'avons gardée jusqu'à la fin de la période expérimentale pour que les résultats soient comparables. Seule une étude plus poussée pourra nous permettre ultérieurement de décider de la technique de lavage à adopter définitivement.

III. — RÉSULTATS

A. Généralités. Interprétation statistique globale.

L'analyse globale des résultats a porté sur 26 variables, et 216 observations par variable (une par semaine, en général, pendant un an, pour chacune des 4 jumelles soumises à l'expérience). Elle a été réalisée sur ordinateur I. B. M. 704.

Cette interprétation statistique qui vise à étudier les relations existant entre les teneurs en minéraux de l'alimentation, du sang, de l'urine, des fèces, des poils, et les conditions climatiques, et à en dégager les mécanismes physiologiques, a été poursuivie par les méthodes courantes d'analyse multidimensionnelle (MORICE et CHARTIER, 1954). Elle a comporté logiquement 3 parties.

1° Étude des courbes de répartition des fréquences de chaque variable.

Une condition essentielle de validité des calculs statistiques qui seront réalisés est que les variables étudiées se répartissent suivant une courbe de LAPLACE-GAUSS, ou courbe normale (fig. 1). Lorsqu'il n'en est pas ainsi, on peut satisfaire indirectement à cette condition, en étudiant

⁽¹⁾ Nous tenons à remercier ici Monsieur le Directeur de l'Observatoire Géophysique du Parc Saint Maur, qui a bien voulu nous autoriser à relever ces données.

non la variable elle-même x , mais une fonction $f(x)$ convenablement choisie de cette variable (BARTLETT, 1947).

TABLEAU I

Caractéristiques de la distribution des principales variables étudiées.

Variable	Unité choisie	Transformation utilisée	Moyenne de la distribution des variables transformées (exprimée en unité de la variable non transformée)	Dispersion de la distribution des valeurs transformées (valeurs extrêmes correspondant à un intervalle de confiance de 95 % et exprimées en unités de la variable non transformée)		Coefficient de variation à partir de la distribution des variables transformées (%) ⁽¹⁾
				minimum	maximum	
Température	degré C	—	8,03	— 4,12	+ 20,18	2,16
Pression atmosph. ...	mm Hg	—	758,70	745,39	772,01	0,88
Durée du jour	minute	—	741	410	1 072	22,27
Hygrométrie	degré hygrom.	—	87,40	69,12	100	10,00
K alimentaire	g	log	109,2	56,5	204,2	31,80
Na alimentaire	g	—	32,8	0	68,1	53,78
Ca alimentaire	g	log	106,3	52,1	239,6	36,88
P alimentaire	g	log	43,7	22,8	83,7	33,09
K plasma	g/litre	—	0,1854	0,156	0,215	7,98
Na plasma	g/litre	—	3,111	2,879	3,343	3,73
Ca sérique	mg/100 ml	—	10,031	8,277	11,785	8,74
P total sérique	mg/100 ml	—	13,178	8,840	17,516	16,46
P minéral sang.	mg/100 ml	—	5,693	3,574	7,819	18,67
Ca urinaire ⁽²⁾	g/litre	racine quatrième	0,0426	0,0064	0,3153	143,38
P urinaire ⁽²⁾	g/litre	racine quatrième	0,1297	0,0034	1,2805	177,57
Ca fécal	p. 1000 (M.S.)	—	24,868	9,370	40,366	31,16
P fécal	p. 1000 (M.S.)	—	10,217	3,591	16,843	32,43
K poil	p. 1000	log	0,0989	0,0394	0,2486	47,78
Na poil	p. 1000	log	0,1152	0,0397	0,3343	56,86
P poil	p. 1000	log	0,1714	0,1317	0,2231	13,21
Ca poil	p. 1000	log	0,3537	0,2114	0,5917	26,01
Mg poil	p. 1000	log	0,0417	0,0117	0,1488	67,87

⁽¹⁾ Ce coefficient de variation a été obtenu en rapportant la moitié de l'intervalle de confiance correspondant à un seuil de probabilité de 67 % à la valeur centrale de la distribution figurant à la 4^e colonne.

⁽²⁾ Étant donné la très forte dissymétrie de la répartition de Ca et P urinaire (voir fig. 3 et 4), dissymétrie qui n'est que partiellement améliorée par la transformation racine quatrième, il ne faut évidemment considérer les chiffres donnés pour ces variables que comme des indications générales.

La plupart des variables envisagées présentaient une courbe de répartition des fréquences différant nettement d'une courbe normale. Nous avons utilisé les transformations suivantes qui nous ont paru justifiées :

a) $\log x$ (courbe log normale ou logarithmico-normale (fig. 2), dans le cas du potassium alimentaire, du calcium alimentaire, du rapport Ca/P fécal et de tous les dosages des minéraux des poils.

b) $\sqrt{x}$ (courbe de répartition des fréquences caractéristiques d'une loi de Poisson = fig. 3) dans le cas des rapports Ca/P alimentaire et urinaire, du calcium et du phosphore urinaires.

FIG. 2.

Dans ce dernier cas, toutefois, la transformation n'est que très approximative. L'examen de la courbe de répartition des fréquences du taux de phosphore urinaire (fig. 4) nous permet en effet de remarquer

FIG. 3.

que les variations de ce paramètre semblent obéir à deux types d'effets :

— un effet simple de seuil : on sait en effet que le taux d'élimination du phosphore urinaire est sensiblement constant et faible tant que le taux de phosphore du sang ne dépasse pas une certaine limite ;

FIG. 4.

Fig. 5. — Influences respectives des différents facteurs obtenus par analyse factorielle sur quelques-unes des variables étudiées (+ corrélation positive; — corrélation négative)

mise à l'analyse factorielle et chaque facteur extrait par cette analyse permet :

a) de calculer la part de variance due à chaque facteur dans la variance totale d'une variable ;

TABLEAU III
Résultats de l'analyse factorielle.

Numéro de la variable	Facteur ₁ (phosphore alimentaire)	Facteur ₂ (Activité thyroïdienne)	Facteur ₃ (Capacité d'assimilation)	Facteur ₄ (Photopériode)	Facteurs non identifiés
¹ K Alimentaire	+ 0,496 (24,60)	— 0,551 (30,36)	+ 0,141 (1,99)	+ 0,195 (3,80)	(39,25)
² Na Alimentaire	+ 0,165 (2,72)	— 0,098 (0,96)	+ 0,616 (37,95)	+ 0,078 (0,61)	(57,76)
³ Ca Alimentaire	+ 0,302 (9,10)	— 0,473 (22,37)	— 0,580 (33,64)	+ 0,234 (5,48)	(29,41)
⁴ P. Alimentaire	+ 0,687 (47,20)	— 0,454 (20,61)	— 0,290 (8,41)	— 0,132 (1,74)	(22,04)
⁵ K Plasma	+ 0,172 (2,96)	— 0,211 (4,45)	+ 0,125 (1,56)	+ 0,417 (17,39)	(73,64)
⁶ Na Plasma	+ 0,098 (0,96)	— 0,161 (2,59)	+ 0,191 (3,65)	+ 0,277 (7,67)	(85,13)
⁷ Ca Plasma	— 0,377 (14,21)	— 0,172 (2,96)	+ 0,267 (7,13)	— 0,234 (5,48)	(70,22)
⁸ Pt Sérique	+ 0,424 (12,98)	+ 0,391 (15,29)	+ 0,472 (22,28)	+ 0,101 (1,02)	(43,43)
⁹ Pm Sang	+ 0,236 (5,57)	+ 0,452 (20,43)	— 0,433 (18,75)	+ 0,066 (0,43)	(54,82)
¹⁰ Ca Urine	— 0,325 (10,56)	— 0,627 (39,31)	— 0,057 (0,32)	+ 0,278 (7,73)	(42,06)
¹¹ P urine	+ 0,454 (20,61)	+ 0,661 (43,70)	+ 0,150 (2,25)	— 0,135 (1,82)	(31,62)
¹² Ca Fèces	— 0,284 (8,07)	+ 0,192 (3,69)	— 0,327 (10,69)	+ 0,424 (17,98)	(59,57)
¹³ P Fèces	+ 0,635 (40,32)	— 0,193 (3,72)	— 0,311 (9,67)	— 0,158 (2,50)	(43,79)
Rôle de chaque facteur dans la variation totale (en p. 100)	15,1 %	16,2 %	12,2 %	5,7 %	50,8

— Le chiffre supérieur indique la corrélation entre la variable et chaque facteur. Le chiffre inférieur entre parenthèses indique le pourcentage de variance attribuable à chaque facteur dans la variance totale de chaque variable ; ces pourcentages de variance et le signe de la corrélation sont représentés schématiquement sur la figure 5.

est répartie suivant une loi normale (phosphore minéral du sang par exemple). Lorsque ces facteurs de variation cumulent leurs effets de façon multiplicative, et non additive, la loi de variation est au contraire du type logarithmico-normale (rapport Ca/P par exemple). On trouvera rassemblées sur le tableau I les caractéristiques principales de la distribution des diverses variables.

2° Calcul de l'importance respective des liaisons entre les teneurs minérales des divers éléments étudiés, et entre ces teneurs, d'une part, et les caractéristiques climatiques et alimentaires d'autre part.

La matrice des coefficients de corrélation entre les variables prises 2 à 2 est représentée sur le tableau II.

Afin d'obtenir une appréciation plus exacte des vraies relations directes entre deux variables, nous avons dû, dans certains cas, éliminer l'influence d'une variable dont l'action sur la fluctuation des deux variables étudiées était prépondérante, et pouvait induire indirectement une relation entre elles. Le coefficient de corrélation partielle entre deux variables x , y , une troisième variable z étant maintenue constante, a été calculé par la formule :

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

$r_{xy,z}$ = coefficient de corrélation partielle entre x et y , à z constant.

r_{xy} , r_{xz} , r_{yz} = coefficients de corrélation entre x et y , x et z , y et z .

Dans d'autres cas, nous avons caractérisé l'importance des fluctuations d'une variable donnée en fonction de celles de 2, 3 ou, en général, plusieurs variables, par le coefficient de corrélation multiple.

3° Analyse factorielle. — Celle-ci constitue une voie d'approche permettant de déceler d'une façon globale les mécanismes qui commandent les relations entre les variables, telles qu'elles sont analysées par la matrice du tableau II (SEWALL WRIGHT, CATTELL).

La difficulté d'interprétation des liaisons existant entre des grandeurs de même nature (dosages de minéraux, par exemple) vient du fait que l'on a affaire à des variables qui sont toutes plus ou moins liées entre elles, sous l'influence de mécanismes organiques dont elles constituent un reflet, mais qu'on ne peut pas contrôler directement. L'analyse factorielle permet justement de passer d'un système de variables contrôlables et dépendantes en un système de variables indépendantes mais hypothétiques, ou « facteurs », que l'on assimile aux mécanismes « sous-jacents » qui commandent les relations entre les variables. Le calcul et la comparaison des coefficients de corrélation entre chaque variable sou-

b) de déterminer l'importance globale de chaque facteur dans la fluctuation d'ensemble de toutes les variables étudiées.

Le physiologiste peut, à l'examen de ces résultats, émettre des hypothèses sur la nature même des facteurs : action alimentaire, climatique, mécanisme endocrinien, etc...

L'extraction des divers facteurs de l'analyse factorielle a été effectuée sur ordinateur I. B. M. 704, par la méthode centroïde de Thurstone.

4° Identification des facteurs. — Parmi les 26 variables qui ont été envisagées pour établir la matrice des coefficients de corrélation, nous avons sélectionné 13 grandeurs de même nature, qui ont été soumises à l'analyse factorielle (résultats de dosages de minéraux). Nous avons notamment éliminé de ce calcul les rapports Ca/P et K/Na, les caractéristiques climatiques, et les dosages minéraux des poils, qui n'avaient été effectués qu'avec une périodicité bi-mensuelle.

Nous avons représenté sur le tableau III les coefficients de corrélation entre chaque variable et chacun des 4 premiers facteurs extraits par l'analyse factorielle. (Six facteurs ont été extraits, mais quatre seulement ont pu être identifiés.) Les pourcentages de variance attribuables à chaque facteur dans la variance totale de chaque variable, d'une part, et de l'ensemble des variables, d'autre part, sont également représentés sur ce tableau, et schématisés sur la figure 5.

Après avoir essayé, dans un but de synthèse, d'identifier les facteurs obtenus par l'analyse factorielle, nous analyserons dans le détail leurs influences, ainsi que les relations existant entre les diverses variables, telles qu'elles apparaissent à l'examen de la matrice des coefficients de corrélation. On voit que, sur l'ensemble des données (tableau III), le facteur d'ordre 1 intervient pour 15,1 p. 100 dans la variation totale, le facteur d'ordre 2 pour 16,2 p. 100, le facteur d'ordre 3 pour 12,2 p. 100, et le facteur d'ordre 4 pour 5,7 p. 100. Nous laisserons de côté les facteurs d'ordre 5 et 6 que nous n'avons pas pu interpréter valablement, et qui ne représentent que 3,5 et 2,7 p. 100 de la variation totale. Ces chiffres permettent d'ores et déjà de penser qu'un grand nombre de mécanismes et d'influences doivent être invoqués pour expliquer les fluctuations de nos variables, et qu'une part importante de celles-ci échappera à l'analyse. Les 4 premiers facteurs ne rendent compte en effet que de 50 p. 100 de la variation totale que l'on caractériserait de façon complète avec 13 facteurs. Il n'existe pas, en outre, contrairement à ce qui est souvent le cas dans de telles analyses, de facteur général ou primaire prédominant, les trois premiers facteurs ayant une influence sensiblement équivalente.

Nous allons, en premier lieu, essayer d'identifier les 4 premiers facteurs à des influences extérieures (nutritionnelles ou climatiques) ou

aux mécanismes physiologiques responsables de la variation des teneurs en minéraux.

1^o FACTEUR N^o 1.

Le facteur n^o 1 présente les coefficients de corrélation les plus élevés en valeur absolue avec le P alimentaire et le P fécal ; il exerce une influence notable sur le P total sérique, le P urinaire. Il est en corrélation positive avec K alimentaire. Il est à noter également qu'il exerce une influence négative sur tous les témoins du métabolisme calcique (plasma, urine, fèces). Il est vraisemblable que ce facteur pourrait être le P alimentaire lui-même, tant en raison de la corrélation très élevée qu'il présente avec ce dernier, que de sa variation concomitante avec K alimentaire, et de l'influence négative qu'il exerce, à tous les niveaux, sur le métabolisme calcique. La relation négative entre Ca et P sériques correspond à la donnée classique de la constance du produit $Ca \times P$ sériques ; nous avons démontré (LARVOR et BROCHART, 1959) que cette relation a sa traduction au niveau urinaire. La réduction du Ca fécal ne peut résulter d'une absorption accrue du Ca alimentaire, car, dans ce cas, on devrait observer une augmentation du Ca sérique ; cette baisse du Ca fécal provient plus vraisemblablement de la réduction du Ca fécal endogène, qui résulte logiquement de la baisse du Ca sérique. Ainsi, en présence d'un apport phosphorique et calcique supérieur aux besoins, on observe une assimilation préférentielle du phosphore, entraînant la réduction du Ca sérique et urinaire.

2^o FACTEUR N^o 2.

Le deuxième facteur se caractérise tout d'abord par une forte relation négative avec trois minéraux alimentaires (Ca-P-K) sur quatre. On verra que les apports alimentaires en Ca, P, K ont varié au cours de notre expérience selon un cycle apparemment annuel (fig. 6), avec un maximum d'apports au cours de l'hiver et en début de printemps. Le facteur 2 pourrait donc être soit un facteur alimentaire en corrélation négative simultanée avec Ca, P, K alimentaires, soit un facteur saisonnier tel que la température, dont le cycle d'évolution est en corrélation négative avec le cycle des apports alimentaires. Par ailleurs, le niveau des apports alimentaires en Ca, P, K a été presque constamment plus élevé pour le couple I-III que pour le couple E-S. Les corrélations observées entre le facteur 2 et les apports en Ca, P, K pourraient donc traduire un comportement différent des deux couples de vaches utilisés ; cette dernière hypothèse est la plus vraisemblable. En effet, le couple E-S a présenté presque constamment au cours de l'expérience un phosphore sérique total et un P urinaire supérieurs à ceux du couple I-III (fig. 6 *bis*) alors que ce dernier couple a présenté une calciurie toujours supérieure

à celle du couple E-S. Or le facteur 2 est en corrélation fortement positive avec P total sérique et P urinaire, et fortement négative avec la calciurie. Le facteur 2 est donc un facteur apparemment lié au couple,

FIG. 6. — Évolution des apports alimentaires (en grammes) au cours de la période expérimentale (moyennes mensuelles).

et ayant une puissante action au niveau du P total sérique et de P et Ca urinaires.

L'identification du facteur 2 nous a été facilitée lorsque nous avons examiné l'évolution du P sérique total et du P urinaire pour chaque couple de jumelles, et en poursuivant cet examen au delà de la période

expérimentale d'un an ayant fait l'objet du présent travail, soit jusqu'en décembre 1958, la phase de croissance (couple E-S), ou le cycle de production laitière (couple I-III), étant achevés à cette date (fig. 6 bis).

On observe que pour le couple E-S le phosphore sérique total et le P urinaire ont été élevés tant que ces génisses ont augmenté de poids,

FIG. 6 bis.

et que ces deux variables ont baissé rapidement dès que la croissance a été achevée. Le couple I-III n'a présenté une augmentation notable du P sérique total qu'au cours des quatre premiers mois de lactation, le P urinaire ne présentant qu'une courte période de fortes valeurs (la compétition de la mamelle pour le P explique sans doute la brièveté de la phosphaturie élevée observée). Il apparaît ainsi que l'évolution

du P sérique total, et, secondairement, du P urinaire, est fonction pour une part de l'activité métabolique. Par ailleurs, le synchronisme de la chute du P sérique total en août 1958 et de la remontée de celui-ci à partir d'octobre, observées chez les deux couples, suggère une influence saisonnière. Il nous paraît donc licite d'identifier le facteur 2, qui est lié à l'activité métabolique et à la saison, à l'activité thyroïdienne. A l'appui de cette hypothèse, nous citerons les travaux d'OWEN (1948) qui a démontré chez la vache que la thyroxine améliore le bilan phosphorique tout en augmentant la phosphaturie.

3° FACTEUR N° 3.

Ce facteur est en corrélation positive avec Na alimentaire, et négative avec Ca et P alimentaires. Au niveau sanguin, son action tend à augmenter le P total sérique et, dans une moindre mesure, le Ca sérique et le Na plasmatique, et à diminuer le P minéral. Son action au niveau urinaire est négligeable ; au niveau fécal, il exerce une action négative sur Ca et P. On se trouve donc en présence d'un facteur dont l'action prépondérante

TABLEAU IV

Influence des apports alimentaires en Na et K sur quelques constantes sanguines.

Auteurs	Date	Minéral Alimentaire Considéré	Espèces	Effets plasmatiques					
				Na	Cl	K	Ca	P	Mg
BERNDT & Coll.	1934	K +	vache						
DENNIS & Coll.	1948	KCl 300 g/j	vache			=	=		
PEARSON & Coll.	1949	K 5 % de ration	mouton			+	=		=
CURME & Coll.	1949	K 4 % de ration	mouton			=	=		
PISTOR & Coll.	1950	NaCl + 450 g/j	vache		=	=			
MEYER & Coll.	1950	Na + 5 %	rat	=					
MEYER & Coll.	1950	K + 5 %	rat	=		=			
NELSON & Coll.	1951	NaCl + 400 g/j	vache	=	+	=			
EATON & Coll.	1952	K 3,2 % de ration	mouton			=	— ou =		
DANIEL & Coll.	1952	KCl 7,7 % de ration	mouton	=		+	=	=	=
KUNKEL & Coll.	1953	K 5 % de ration	mouton	=		=	+ ou =		—
TOUSSAINT & Coll.	1953	NaCl + 5 % de ration	rat	+		=			
MEYER & Coll.	1954	NaCl 13 % de ration	mouton	=	+	=			

tend à augmenter P total et Ca sérique, en dépit d'une réduction des apports alimentaires phosphocalciques, ce qui suggère que ce pourrait être un facteur efficace d'assimilation. Divers auteurs ont signalé un effet positif général du sodium sur les mécanismes d'assimilation (RIGGS et coll. 1951 ; AINES et SMITH, 1957), ce qui expliquerait la corrélation positive entre ce facteur et l'apport alimentaire sodique. Par ailleurs, il a été observé chez de nombreuses espèces de laboratoire (NICOLAYSEN et coll. 1953), et chez les bovins (BODA et COLE, 1956), que la réduction des apports calciques et phosphoriques accroît le coefficient d'utilisation de ces éléments, ce qui expliquerait les corrélations négatives entre le facteur 3 et les apports alimentaires phospho-calciques. Nous pensons donc qu'il est licite d'assimiler ce facteur à la capacité d'assimilation intestinale, elle-même fonction des apports sodiques et phospho-calciques.

La corrélation négative entre le facteur 3 et le P minéral sanguin est plus difficile à expliquer. L'apport sodique a été le plus souvent associé à un apport de chlore (sous forme de Cl Na) ; il est possible que la réduction du P minéral sanguin soit le fait de l'ion chlore. Plusieurs auteurs (tableau IV) ont en effet observé que l'apport de sel ne modifiait pas sensiblement le sodium plasmatique, ce que nos observations confirment, mais augmentait le chlore plasmatique. On peut penser que l'augmentation du taux d'ions Cl^- a pour effet, par un mécanisme de régulation acido-basique du sang, de réduire la quantité d'ions PO_4^{--} . Un tel antagonisme entre Cl^- et PO_4^{--} a été observé au niveau urinaire par LARVOR et BROCHART (1959), qui ont observé une corrélation négative entre le chlore et le phosphore urinaire, corrigé en fonction de la matière sèche ($r = -0,72$; significatif à 5 p. 100 — seuil à 1 p. 100 : $-0,73$).

4° FACTEUR N° 4.

Le facteur 4 intervient pour une part nettement plus faible que les trois facteurs précédents dans la variation générale (5,7 p. 100) ; il présente une corrélation positive élevée avec le K et le Na plasmatiques, ainsi qu'avec le Ca fécal et le Ca urinaire, et est en corrélation négative avec le Ca sérique. L'examen des courbes d'évolution saisonnière de K, Na du sang, confrontées avec l'évolution des différents facteurs saisonniers (fig. 7), montre que la photopériode (que nous avons ici chiffrée comme étant l'allongement ou la diminution de la durée du jour au cours de chaque mois) est bien liée à ces teneurs minérales du plasma. Nous verrons, lors de la discussion sur l'influence de la température, que les modifications de Na et K du plasma sont en relation avec le volume circulant, lui-même modifié par la sécrétion de l'A. D. H. SJOSTRAND (1953) a observé l'augmentation du volume sanguin chez quatre femmes pendant le passage de l'hiver au printemps, mais il signale que ces variations

n'ont suivi que de très loin les variations de température, et il en conclut que la durée du jour est l'agent causal. Cependant BASS et HENSCHÉL (1956) font remarquer que l'examen des données de SJOSTRAND montre que les volumes sanguins les plus élevés surviennent 4 mois avant la

FIG. 7. — Évolution saisonnière de Na et K plasmatique.
Relation avec la photopériode.

durée du jour maximum. Il est tout à fait remarquable que cette période, qui correspond également aux valeurs maximum du Na et du K plasmatiques dans nos recherches, est celle où le taux d'accroissement de la durée du jour est le plus élevé. De même, le taux d'hémoglobine du sang humain

tel que COULTHARD (1948) l'a calculé sur des milliers de dosages effectués, par lui ou d'autres auteurs, présente une courbe de variation tout à fait similaire. La figure 7 permet de comparer ces différentes données, et la coïncidence étroite entre des travaux d'ordre aussi divers ne permet pas de douter du rôle décisif de la photopériode.

Nous avons également remarqué que, chez nos bovins, la mue débutait en février, donc en même temps que d'importantes variations plasmatiques. Or, il est parfaitement établi, chez la jument (BURKHARDT, 1947), et chez la vache (LAING, 1948), que la mue est en relation étroite avec la photopériode. Cet ensemble de résultats nous amène à identifier le facteur n° 4 (qui intervient pour 8 p. 100 de la variation du Na plasmatique et pour 17 p. 100 de la variation du K) à un phénomène saisonnier de nature endocrinienne, probablement la sécrétion d'A. D. H. post hypophysaire, elle-même très étroitement sous la dépendance de la photopériode (et peut-être, dans une moindre mesure, de la température).

Par ailleurs, BROWN et Coll. (1943) chez l'homme, et CRAIG et GADD chez le cheval, ont noté une variation saisonnière de la concentration des protéines du plasma, qui semble se faire presque exactement en sens inverse de la variation de Na et de l'hémoglobine.

L'influence du facteur 4 sur le métabolisme calcique tend à augmenter l'élimination calcique urinaire et fécale et à réduire le calcium sérique. Il y a donc une influence saisonnière qui au moment de l'augmentation de la photopériode tend à réduire l'assimilation du calcium ; il est possible que l'activité thyroïdienne soit en cause, puisque la thyroxine a pour effet de rendre négatif le bilan calcique (OWEN, 1948).

B. — Influence des facteurs saisonniers.

Nous avons étudié primitivement l'influence de quatre facteurs saisonniers : température, pression atmosphérique, durée du jour et hygrométrie. Par la suite, nous avons été amenés à envisager également la photopériode, dont le rôle semble réellement primordial.

Ces facteurs ont été étudiés sans transformation, les trois premiers parce qu'ils ont une répartition normale (suivant une courbe de Gauss), et l'hygrométrie parce que nous n'avons pas pu trouver une transformation satisfaisante. Pour la température, la pression atmosphérique et l'hygrométrie, il s'agit d'observations hebdomadaires faites à l'Observatoire Géophysique du Parc Saint Maur, à 6 heures G.M.T.

Il y a évidemment une corrélation très élevée entre la durée du jour et la température ($+ 0,666$), ce qui va rendre délicate l'interprétation de certaines corrélations, et, notamment, l'attribution d'une action précise à l'un ou l'autre de ces deux facteurs. Par contre, la corrélation

positive significative hygrométrie-pression atmosphérique ne compliquera pas l'interprétation, car ces deux variables semblent avoir une influence minime sur la composition minérale.

1^o Corrélations entre les facteurs saisonniers et l'alimentation.

Nous avons été surpris de constater qu'il existait une corrélation souvent hautement significative entre les facteurs saisonniers et l'alimen-

FIG. 8. — Corrélation entre la teneur en Ca, P et K des foin de luzerne et la durée du jour au moment de leur livraison.

tation minérale (tableau II) ; l'examen des causes possibles de ces liaisons statistiques nous a montré qu'elles étaient dues, pour une large part, à la composition minérale des différents foin de luzerne qui nous furent fournis. La figure 8 montre la relation négative étroite qui lie la teneur en calcium, phosphore et potassium, des fourrages consommés avec la durée du jour au moment de l'arrivée, donc de la consommation, (notre fourrage étant renouvelé presque tous les mois). Les durées du jour courtes

correspondent à des fourrages stockés depuis plusieurs mois, alors que les durées du jour longues correspondent à des fourrages récoltés depuis peu ; la durée du jour n'est donc en fait qu'une manière d'exprimer le temps de stockage de ces fourrages. L'explication de cette relation nous semble devoir être trouvée dans la perte de poids que subissent les four-

TABLEAU V

Influence de la température sur le volume des liquides biologiques et leur concentration

Auteurs	Année	Espèce	Conditions expérimentales	Modifications de volume	Modifications de concentration
LEHMANN et coll.	1938	Homme	Travail en atmosphère chaude.		Baisse de la chlorémie.
BAZETT	1941	»	Acclimatation : 1° à la chaleur ; 2° au froid.	1° Augmentation volume plasma. 2° Diminution.	1° Baisse protéinémie, puis normale ou même supérieure.
BAZETT et coll.	1940	»	Exposition à 32°C, en hiver.	Masse sanguine + 8 à 23 %.	
CONLEY et coll.	1945	»	Exposition prolongée au froid.	Volume extracellulaire sans changement.	Na, Cl, hématoците sans changement.
SPEALMAN et coll.	1947	»	1° Exposition à température élevée en été. 2° Température basse en été.		1° Protéinémie et hémoglobine varient peu. 2° Augmentation. Vice versa en hiver.
BASS et coll.	1955	»	Exposition 14 jours à 38 à 49°C.	Volume plasmatique et extracellulaire augmentent. Maximum le 5 ^e jour.	
WALSH et coll.	1956	»	Refroidissement de 29°5 à 14°5.		Augmentation de la concentration de l'hémoglobine.
BASS et coll.	1958	»	Brèves périodes à 49°C pendant 6 semaines.	Volume plasma et sang identiques.	
BARBOUR et coll.	1943	Singe	Baisse temp. centrale à 23°.		Hémoconcentration, augmentation de Cl.
STEDMAN et coll.	1941	Lapin	Refroidissement variable.		Pas de variations cohérentes de Na ou de concentration.
SQUIBB et coll.	1954	Rat	72 heures à 25 ou 35°C.		Hémoconcentration.
DEB et coll.	1956	»	5 semaines à 6°.	Augmentation 30 % volume sanguin.	
BAKER et coll.	1957	»	45 jours à 2°C.	Augmentation volume sang et plasma.	Na et K plus élevés pendant 8 à 10 jours.
HANNON et coll.	1958	»	4 semaines à 5°.		K, Ca, P, Cl sans changement, élévation de Na douteuse et de Mg significative.
WOODRUFF	1941	Chien	Baisse temp. centrale à 22°.		Hémoconcentration.
APPLEMAN et coll.	1958	Chèvre	Exposition à températures de 0 à 40°.		Densité sang const. Cl plasma maximum à 20° baisse si température augmente ou diminue.
DALE et coll.	1956	Vache	Augmentation de température.	Augmentation volume sanguin.	
BIANCA	1957	»	45° 5 heures p/jour pendant 3 semaines.	Augmentation volume plasma.	Concentration plasma constante.

rages entre le moment où ils sont emmagasinés (mai-juin), et le moment où ils sont livrés. Bien que non physiologiques, nous sommes obligés de prendre ces relations en considération parce qu'elles compliquent l'interprétation. L'influence personnelle a joué également, les apports minéraux ayant été modifiés à plusieurs reprises au cours de l'expérience, et notamment de façon importante en période terminale.

TABLEAU VI

*Influences saisonnières sur le volume ou la concentration
des liquides biologiques*

Auteurs	Année	Espèces	Conditions expérimentales	Modifications de volume	Modifications de concentration
MAXFIELD et coll.	1939	Homme	Passage de l'hiver au printemps.	Sang + 17 %.	
BAZETT et coll.	1940	"	Volume du sang en hiver et en été.	Plasma + 27 %.	Pas de modification des protéines.
BROWN et coll.	1943	"	Densité moyenne de plasma de différentes origines.	Augmentation en été pouvant atteindre 29 %	Chute au printemps, retour à la normale en juillet, augmentation en hiver.
LINHARD et coll.	1953	"	Protéïnémie de sérums prélevés à Dakar.		Chute au début de la saison chaude, puis élévation progressive à des valeurs plus fortes qui persistent toute saison chaude.
SJOSTRAND	1953	"	Passage de l'hiver au printemps.	Augmentation de volume sanguin.	
KOBAYASHI et coll.	1955	"	Variations saisonnières du L. C. R.		Ca plus faible en été ; Mg et K plus fort.
COULTHARD	1958	"	Rassemble 10.000 dosages d'hémoglobine sanguine.		Maximum en février, décroissance février à août, niveau faible août à janvier.
MUKHERJEE et coll.	1952	Mouton chèvre	Variations saisonnières, hémoglobine.		En été diminue, au printemps augmente. Hématocrite idem.
MEHROTRA et coll.	1954	Mouton	Comparaison été et hiver 15 béliers.		Hémoglobine, Ca, P minéral et hématocrite sont plus élevés en hiver, protéines plus en été.
RUSOFF et coll.	1946	Vaches	Peu de précisions techniques.		Aucune variation constatée.
KISELYEV	1958	"	Variations saisonnières du sérum.		Baisse hivernale de Ca, P minéral, Vit. C et carotène.

2° Corrélations entre les facteurs saisonniers et la composition du sang.

L'analyse factorielle nous a montré l'existence d'un facteur saisonnier essentiel, le facteur n° 4, qui représente peut-être les modifications de la sécrétion de l'A. D. H. ; commandées essentiellement par la photo-

période et, éventuellement par la température. Ce facteur intervient pour 17 p. 100 dans la variation du K plasmatique, et pour 8 p. 100 dans la variation de Na.

On a vu (voir page 21) que le facteur 2 paraît soumis dans une certaine mesure aux influences saisonnières.

La pression atmosphérique n'offre à considérer aucune corrélation significative avec aucun composant minéral, non seulement du plasma, mais aussi des différents produits dosés.

Il est difficile d'apprécier les influences de la durée du jour et de la température, mais il est probable qu'elles sont relativement minimes, une fois les corrélations précédentes écartées. En effet, les influences de la durée du jour ne semblent s'exercer que par l'intermédiaire de ses rapports avec la photopériode.

3° Corrélations entre les facteurs saisonniers et la concentration urinaire en minéraux.

La photopériode (facteur n° 4) augmente légèrement la concentration du Ca urinaire (8 p. 100 de la variation totale du Ca urinaire).

4° Corrélations entre les facteurs saisonniers et la composition minérale des fèces.

La photopériode (facteur n° 4) a eu une influence notable sur les variations du calcium fécal (18 p. 100 de ses variations).

5° Discussion :

Parmi les facteurs climatiques et saisonniers, l'influence de la température a certainement été la mieux étudiée. Dès 1795, JACKSON notait chez l'homme l'expansion des fluides et la réplétion des vaisseaux lors de l'acclimatation à la chaleur ; en 1888, TREILLE signalait la plus grande fluidité du sang des sujets exposés aux climats tropicaux, tandis qu'en 1909 GIBSON montrait l'existence de la diurèse au froid, et que BARBOUR (1921) établissait que, dans tout phénomène de régulation thermique, il se produit des échanges d'eau entre les différents compartiments liquidiens de l'organisme. Nous nous bornerons à citer quelques références récentes ou particulièrement importantes ; pour la bibliographie d'ensemble on pourra consulter BINET (1929), THAUER (1939), BONVALLET et DELL (1949) et BASS et HENSCHER (1956).

En 1948, BONVALLET et Coll. montraient qu'après section du faisceau supraopticoposthypophysaire les variations de la diurèse avec la température n'apparaissent plus, donc que l'A.D.H. est en cause dans ce phénomène.

Le tableau V rassemble, sous une forme abrégée, quelques références sur la question de l'influence de la température sur le volume des liquides biologiques et leur concentration minérale ou globale. Il est difficile de tirer des conclusions nettes de cet ensemble d'expériences réalisées dans des conditions très variées, et qui donnent des résultats parfois contra-

FIG. 9. — Schéma de quelques corrélations susceptibles d'expliquer partiellement certaines variations climatiques.

dictoires. Il s'en dégage cependant les phénomènes généraux suivants :

a) Les volumes plasmatiques et sanguins varient parallèlement entre eux en fonction de la température ; ils augmentent quand elle s'élève, et semblent également augmenter quand elle baisse, encore que ce dernier point soit controversé. Les variations du volume extracellulaire sont beaucoup moins cohérentes encore.

b) La concentration des protéines du plasma subit une phase de di-

minution transitoire quand le volume plasmatique augmente, mais il y a rapidement compensation, (et même hypercompensation) de longue durée. La compensation peut être assez rapide pour que le premier phénomène de dilution plasmatique passe inaperçu.

c) La concentration du plasma en Cl semble suivre celle des protéines.

d) La concentration en Na semble varier de façon à pallier la dilution temporaire des protéines plasmatiques.

e) Dans l'exposition prolongée au froid, il ne semble pas y avoir de modifications de la concentration en protéines, Cl, K, Ca et P. L'élévation de Mg est significative chez le rat (HANNON et Coll. : 1958) ; il semble par contre que chez les bovins il y ait une baisse de Mg (BARKER).

Le tableau VI groupe quelques résultats concernant l'influence de la saison sur le volume ou la concentration des liquides biologiques (sang, plasma, sérum, liquide extra-cellulaire) ; il apparaît que ces liquides prennent une extension considérable au printemps, les données concernant les autres facteurs étant beaucoup moins régulières.

Ces données cadrent assez mal avec la notion de l'influence de la température ; par contre, elles s'accordent bien à l'hypothèse d'une intervention de la photopériode dans la libération de l'A.D.H., phénomène qui commande manifestement les variations de Na et K plasmatiques que nous avons enregistrées. Il semble donc que, dans les variations saisonnières des volumes liquidiens et des concentrations minérales du sang, le rôle essentiel soit joué par la photopériode, la température n'intervenant que d'une façon minime et dans le cadre de phénomènes de régulation à court terme.

Les résultats obtenus en milieu tropical semblent être beaucoup plus liés aux variations de température. Et ceci semble logique, puisque les variations de la photopériode sont minimales aux faibles latitudes. Peut-être faut-il voir là une des raisons pour lesquelles RUSOFF et PIERCY (1946) n'ont pas observé de variations saisonnières dans la composition du sang des bovins (climat de Louisiane) ; peut-être aussi le nombre de leurs observations était-il trop réduit, et surtout la répartition de leurs prélèvements laissait-elle des « trous » aux moments des changements de saison, lorsque les modifications plasmatiques sont les plus importantes.

Nous envisagerons dans la discussion générale le mécanisme d'action de la photopériode.

La figure 9 essaie de rendre compte d'une partie des faits observés. Il ne faut pas néanmoins se dissimuler que cette interprétation est loin de tout éclaircir. On ne saurait manifestement, par exemple, attribuer toutes les modifications des électrolytes plasmatiques à une action exclusive de l'hormone antidiurétique ; il semble bien également qu'il y ait une périodicité annuelle des surrénales, non seulement d'un point de vue morphologique, mais aussi d'un point de vue sécrétoire. HOLCOMBE

(1957) constate que l'excrétion urinaire des « corticoïdes réducteurs » chez le taureau, passe par un minimum en janvier, s'élève rapidement entre février et juin, et diminue ensuite progressivement de juin à janvier, semblant suivre une courbe parallèle à la durée du jour.

En ce qui concerne le P et le Ca, nos résultats sont beaucoup moins nets. KISELYEV (1958) a constaté une baisse hivernale du calcium et du phosphore minéral, baisse qu'il attribue à la stabulation et au régime. Nos résultats concordent en ce qui concerne le calcium, mais non le phosphore ; par ailleurs les modifications que nous enregistrons sont manifestement saisonnières, puisqu'elles subsistent, même calculées à alimentation minérale constante.

La pression atmosphérique n'a pas joué de rôle dans les variations de la composition minérale sanguine, bien que BERG et coll. (1940) aient constaté une corrélation significative entre le pH sanguin de l'homme et du chien et la pression atmosphérique, et que, par ailleurs, HUEY et HOLMES (1950), ainsi que ELLIS (1953), aient constaté que l'acclimatation à l'altitude s'accompagne d'une réduction du volume plasmatique.

C. — Influence des facteurs alimentaires.

1° Apports alimentaires au cours de la période expérimentale.

A l'exception d'une courte période (mai-juin 1958) intéressant un seul couple de vaches (couple I-III), le rationnement a peu varié au cours de l'expérience, et a comporté, selon le poids et la production des animaux : de 5 à 9 kg de foin de luzerne, 0,75 kg de son, 0,5 à 2 kg de pulpes sèches, de 1 à 6 kg de recoupe de blé. Cette ration a assuré pour le couple S-E un gain de poids quotidien moyen de 0,465 kg, de l'âge de 27 mois (370 kg) à l'âge de 39 mois (540 kg), et pour le couple I-III de 0,690 kg, de l'âge de 26 mois (460 kg), au vélage à 34 mois (615 kg). Divers compléments minéraux ont été distribués, (phosphate dicalcique, phosphate disodique, carbonate de chaux) pendant des périodes de durée diverse, afin de faire varier les apports phospho-calciques dans d'assez larges limites ; toutefois, en dehors de la période précitée, n'intéressant que le couple I-III, et en dépit du fait que le rapport Ca/P ait varié dans de larges limites (de 1,5 à 4,5), les apports phospho-calciques ont été égaux ou supérieurs aux besoins théoriques calculés selon les normes suivantes : Ca = 5 g, P = 3 g par 100 kg de poids ; Ca = 2,5 g, P = 2 g par litre de lait. (Chaque vache a reçu quotidiennement 5 000 U.I. de vit. D et 25 000 U. I. de vit. A pure ⁽¹⁾).

La période mai-juin 1958 intéressant le couple I-III a été caractérisée par une réduction considérable des apports phospho-calciques, tendant à

(1) Nous tenons à remercier la Société VETEGIC qui nous a fourni gracieusement la vit. A pour cette expérience.

provoquer une carence associée en Ca et P ; dans ce but, nous avons réduit à 1 kg l'apport du foin de luzerne, supprimé le son et la recoupe, qui ont été remplacés par de la pulpe sèche, de la paille mélassée et des tourteaux de lin et d'arachide. Cette ration a assuré les apports théoriques énergétiques et protéiques. La réduction des apports phospho-calciques pour un couple au cours de la période terminale de l'expérience a eu pour effet d'accuser l'évolution cyclique artificielle des apports moyens phospho-calciques pour l'ensemble des 4 vaches au cours de la période expérimentale, évolution qui est due, pour une part, ainsi que nous l'avons mentionné, à la variation de la composition des foins de luzerne au cours de l'expérience (fig. 8).

Le caractère cyclique des apports potassiques a été également très net au cours de notre expérience.

Les apports sodiques n'ont pas varié d'une façon cyclique comme P, K et Ca, du fait que le Na distribué sous forme de complément minéral (sel surtout, et, pour une courte période, phosphate disodique) a souvent égalé ou dépassé le Na des fourrages ; or, la distribution de ces compléments n'a été ni régulière ni cyclique au cours de l'expérience. Les apports en Na et K n'ont jamais été inférieurs aux besoins, calculés selon les normes de DU TOIT et COLL. (1934, 1940) et THEILER et COLL. (1927), soit, pour Na : 4 g pour l'entretien et 1 g par litre de lait ; et pour K : 25 g pour l'entretien, et 3 g par litre de lait.

2° Corrélations entre les apports alimentaires.

Les moyennes et écarts types des distributions des variables alimentaires sont figurées au tableau I.

On notera que Ca, P et K alimentaires sont associés deux à deux par des corrélations positives hautement significatives. Ces corrélations découlent pour une large part de la variation parallèle de Ca, P et K dans les foins.

Le Na alimentaire n'est pas en corrélation avec P et K, pour les raisons précédemment énoncées. Il est en corrélation négative avec le Ca alimentaire. Il est à noter que son coefficient de variation est très supérieur à ceux des autres minéraux. Nous serons naturellement amenés à tenir compte de l'association entre Ca, P et K dans l'interprétation des influences alimentaires.

3° Influence des facteurs alimentaires sur la composition plasmatique ou sérique.

L'analyse factorielle (tableau VIII) indique une influence importante du P alimentaire (1^{er} facteur) sur le Ca sérique puisque, sur l'ensemble des 6 facteurs de variation envisagée, près de 18 p. 100 de la

variation du Ca sérique lui est imputable. Alors que le P alimentaire est en liaison négative avec le Ca sérique, il tend au contraire à varier dans le même sens que le P total sérique ; cet antagonisme peut être expliqué par le balancement existant au niveau plasmatique entre Ca et P. On remarquera que l'influence du P alimentaire sur le P minéral est faible, mais on se rappellera que nos animaux, sauf pour une faible période, et uniquement pour un couple, n'ont jamais été carencés en phosphore.

TABLEAU VII

Influence de l'apport alimentaire sodique sur la variabilité de la natrémie.

Na Alimentaire quotidien.	10-15 g.	16-22 g.	23 à 42 g.	43 à 54 g.	55 à 70 g.	
Nombre de dosages de plasma.....	32	55	50	50	30	
Na plasmatique moyen.....	3,089	3,118	3,079	3,122	3,150	non significatif
Coefficient de varia- tion du Na plas- matique.....	4,43 %	4,40 %	5,73 %	2,85 %	2,69 %	Significatif 1 %.

Étant donné les relations qui unissent le Ca alimentaire (tableau II) avec la durée du jour, le P et le Na alimentaires, ainsi qu'avec le P et le Ca sanguin, urinaire ou fécal, toutes les corrélations entre Ca alimentaire et ces dernières variables ont été exprimées en coefficients de corrélation partiels, à durée du jour, sodium alimentaire et phosphore alimentaire constants (fig. 10). Dans ces conditions, on note que le Ca alimentaire n'exerce plus qu'une action négative significative à 1 p. 100 sur le phosphore total sérique. La corrélation positive entre Ca alimentaire et K plasmatique devient non significative lorsqu'elle est recalculée à K alimentaire constant.

L'analyse factorielle indique que le Na alimentaire n'exerce qu'une faible action non significative, sur le Na plasmatique ; il a cependant une action manifeste sur les variations du Na plasmatique autour de sa moyenne, ainsi que le montre l'étude des fluctuations de la dispersion des valeurs plasmatiques en fonction de la quantité de Na ingérée quotidiennement.

Le tableau VII met en évidence le fait qu'une alimentation riche en Na, sans élever le niveau plasmatique (ou très faiblement), diminue significativement l'amplitude des écarts observés d'une semaine à l'autre.

Les limites des classes de Na alimentaire ont été choisies d'amplitude variable, de façon à obtenir une répartition du nombre de dosages qui ne soit pas trop disproportionnée.

FIG. 10. — Corrélations entre le calcium alimentaire et quelques autres variables, à phosphore alimentaire, sodium alimentaire et durée du jour constants. Seuils de signification 1% : 0,177. 5% : 0,136.

L'analyse factorielle ne fait pas apparaître le K alimentaire comme un élément décisif de variation ; néanmoins, il exerce une action positive significative (tableau II), sur le K plasmatique ($r = + 0,193$), action qui subsiste après l'élimination statistique de l'action des facteurs interférants.

La liaison positive intense de K alimentaire avec le premier facteur (P alimentaire) tient vraisemblablement à la corrélation élevée K alimentaire-P alimentaire (+ 0,573 ; tableau II). La liaison négative intense de K alimentaire avec le 2^e facteur (activité thyroïdienne) provient vraisemblablement du fait que le couple E-S ayant présenté l'activité thyroïdienne la plus élevée est celui qui a constamment reçu des apports potassiques inférieurs à ceux du couple I-III.

4^o Influence des facteurs alimentaires sur la concentration urinaire en Ca et P.

L'analyse factorielle montre que le phosphore alimentaire (1^{er} facteur) varie dans le même sens que le P urinaire, mais en sens contraire par rapport aux fluctuations du Ca urinaire, son action intervenant dans le même sens aux niveaux urinaire et sérique. Il est à remarquer que l'influence du 1^{er} facteur (P alimentaire) sur l'élimination urinaire de Ca et P est faible par rapport à celle exercée par le 2^e facteur (l'activité thyroïdienne) (tableau III) (respectivement 11 et 39 p. 100 pour Ca, 21 et 44 p. 100 pour P).

Par contre, le calcium alimentaire (fig. 10) est en corrélation positive avec le calcium urinaire et négative avec la phosphaturie ; cette action peut s'expliquer par l'effet dépressif du Ca alimentaire sur le phosphore sérique total, avec diminution consécutive de l'élimination urinaire du phosphore, ainsi que par une inhibition thyroïdienne entraînant la réduction de la phosphaturie, ces deux phénomènes pouvant jouer concurremment.

Etant donné l'action en sens contraire exercée par Ca et P alimentaires sur la calciurie et la phosphaturie, il est prévisible que le rapport Ca/P agira sur ces deux variables dans le même sens que Ca, et avec une influence renforcée.

corrélation Ca/P — Ca urinaire $r = + 0,317$.

« — P urinaire $r = - 0,386$.

L'influence négative du K alimentaire sur le P urinaire résulte des corrélations positives Ca-P-K alimentaires.

5^o Influence des facteurs alimentaires sur la composition fécale.

L'analyse factorielle (tableau III) montre que le 1^{er} facteur identifié au phosphore alimentaire, influence positivement de façon très importante le phosphore fécal, et négativement, mais dans une faible mesure, le calcium fécal.

Le calcium alimentaire (fig. 10) est en relation positive avec le cal-

cium fécal ; son action sur le P fécal est nulle, et il ne semble donc pas que le Ca alimentaire puisse influencer l'absorption de P.

Le K alimentaire exerce sur Ca et P fécal une action identique à celle de P ; les corrélations K alimentaire — Ca fécal, à Ca fécal constant, et K alimentaire — P fécal, à P alimentaire constant, deviennent non significatives.

Le sodium alimentaire, selon l'analyse factorielle, exerce une action négative sur le Ca fécal. La corrélation négative Na alimentaire — Ca fécal (tableau II), devient à Ca alimentaire constant, significative.

6^o Discussion.

On notera, après examen du tableau VIII, résumant les données de la littérature concernant les relations entre les apports alimentaires phosphocalciques et les valeurs de Ca et P du sang et des fèces, que nos résultats concordent, dans la majorité des cas, avec ces données.

Nous n'observons toutefois pas d'influence du P alimentaire sur la phosphatémie (P inorganique ou minéral), alors que la majorité des auteurs observent des variations parallèles entre apport phosphorique et P minéral sanguin, mais ceci surtout lorsque les apports sont faibles, ce qui n'a pas été le cas dans notre expérience, sauf pour une faible durée, n'intéressant qu'un couple de vaches.

Le P alimentaire diminue la calcémie, augmente le P fécal, et tend à diminuer le Ca fécal, cette dernière influence étant toutefois assez faible.

L'apport calcique est sans influence sur la calcémie ; seul parmi divers auteurs, SAARINEN (1950) a signalé une légère augmentation de la calcémie lors d'apport calcique accru. Le Ca alimentaire augmente le Ca fécal ; il n'exerce pas d'action sur la phosphatémie, les indications bibliographiques montrant une action faible et contradictoire selon les auteurs. Le Ca alimentaire exerce par contre une nette action négative sur le phosphore sérique total (fig. 5).

P et Ca alimentaires ont donc une action antagoniste sur le P sérique total, le calcium sérique ne dépendant que de l'apport phosphorique. Au niveau fécal, si le P alimentaire paraît exercer une action faible sur l'assimilation calcique, le calcium alimentaire n'influence pas l'assimilation du phosphore.

Au niveau urinaire, l'action du phosphore alimentaire est faible, comparée à celle de l'activité thyroïdienne. L'action du calcium alimentaire est par contre importante, et se manifeste par une augmentation de la calciurie et une réduction de la phosphaturie.

L'influence négligeable du Na alimentaire sur le Na plasmatique est en accord avec les données bibliographiques (tableau IV). La technique, assez répandue dans certaines régions des Etats-Unis, qui consiste à

donner au bétail, sans restriction, des tourteaux fortement salés, le sel étant le facteur limitant de la consommation spontanée, a en effet entraîné plusieurs études sur l'influence de quantités importantes de sels sur la physiologie des ruminants ; on constate qu'il faut atteindre les limites de l'intoxication saline pour observer une influence sur le Na plasmatique.

TABLEAU VIII

*Influence des apports alimentaires phospho-calciques
sur Ca et P sanguins et Ca et P fécal.*

Auteurs	Apport calcique	Ca Fécal	Calcémie	Apport phospho- rique	P Fécal	Phospha- témie
MEIS & Coll. 1917 1926	+ —	—	→ =	—	→ +	—
ECKLES & Coll. 1935	—	—	→ =	—	—	→ —
GROENEWALD 1935	—	—	=	—	—	—
WESTERLUND 1937	+ —	→ + — ←	—	— +	—	—
OTTO 1938	— — + —	—	—	— — — =	— — — =	→ — → ±
PALMER & Coll. 1941	—	—	—	—	—	—
HANSSON 1942	+ —	—	→ =	— +	—	→ =
WEBB & Coll. 1948	+	—	—	—	—	=
WATKINS & KNOX 1948	—	—	—	—	—	—
RUSHOFF 1950	—	—	=	—	—	—
LEWIS & Coll. 1951	—	—	= ← = ←	— +	—	→ — → +
SAARINEN 1950	+	—	+	—	—	—
JARL 1953	—	—	=	—	—	—
BODA & COLE 1956	—	—	=	—	—	—
DOWE & Coll. 1957	+ —	—	→ =	—	—	→ —
FENDER & Coll. 1957	—	—	—	+	—	—

Cependant, nous avons observé qu'à un niveau de sodium alimentaire élevé correspond une stabilité plus grande des valeurs de Na (tableau VII), ce que l'on peut tenter d'interpréter comme résultant de la mise au repos progressive de la fonction minérale du cortex surrénal. Il est en effet vraisemblable que lorsque des apports faibles en Na amènent l'organisme à faire intervenir des mécanismes de rétention sodique (sécrétion d'aldostérone), le constant réajustement de la sécrétion peut entraîner des varia-

tions assez grandes de la natrémie, soit par élimination rénale, soit par échanges actifs cellules-plasma (REINBERG et STOLKOWSKI, 1957).

L'influence importante du Na alimentaire, qui s'exerce de façon indirecte par l'intermédiaire des mécanismes d'assimilation intestinale sur le métabolisme phospho-calcique, est assez inattendue, et n'a pas encore été signalée à notre connaissance ; cette action est décisive sur le P total sérique et le P minéral du sang, le premier étant augmenté et le second abaissé sous l'influence de l'apport sodique.

La question de l'influence du potassium alimentaire sur les minéraux plasmatiques a fait l'objet de quelques travaux chez les ruminants, en relation avec l'étiologie de la tétanie d'herbage (tableau IV). On voit que les auteurs sont loin d'être unanimes ; nos résultats semblent cependant nettement indiquer que dans les conditions d'une expérimentation de longue durée on observe une variation concomitante de K alimentaire et de K plasmatique, bien que les quantités absorbées soient toujours restées dans les limites physiologiques habituelles. Il semble qu'il faille faire intervenir des quantités de K beaucoup plus élevées pour observer une interférence avec les autres minéraux du plasma.

D. — Relations entre les variables sanguines, urinaires et fécales.

1° Relations entre les variables sanguines.

On trouvera résumées au tableau IX les observations d'un certain nombre d'auteurs sur les variables sanguines, ainsi que la moyenne et les caractéristiques de dispersion des 216 déterminations effectuées par nous sur chacune des variables. Nos résultats sont dans l'ensemble très comparables à ceux de ces auteurs.

On observe (tableau II) une corrélation négative hautement significative entre le calcium sérique et le phosphore minéral, relation qui traduit la loi très générale de la constance du produit $(\text{PO}_4^{--}) \times (\text{Ca}^{++})$.

On note une relation négative entre le phosphore sérique total et le phosphore minéral, due, selon toute vraisemblance, à l'influence du Cl Na alimentaire, qui s'exerce en sens contraire sur ces deux variables.

On n'observe aucune relation entre Ca sérique, P sérique total, P minéral, d'une part, et K et Na plasmatiques d'autre part. Il semble donc bien qu'au niveau sérique les régulations de ces deux groupes de métabolites soient indépendantes.

K et Na plasmatique sont liés par une corrélation positive hautement significative due essentiellement à leur variation parallèle sous l'influence de la photopériode (facteur n° 4).

TABLEAU IX

*Valeurs des variables sanguines observées par quelques auteurs.**Comparaison avec les résultats du présent travail.*

(P = plasma ; S = sérum ; valeurs exprimées en g par litre).

Auteurs		Na	K	Ca	P minéral	P total
ABDERHALDEN	1906	S	3,120	0,212		
MARXER	1929	S			0,051 à 0,058	
PALMER & Coll.	1929	P			0,021 à 0,089	
HAAG & Coll.	1935	S		0,099 (0,0805 à 0,114)	0,052	
AIRCROFT & GREEN	1938	S			0,040 à 0,060	
SALGUES	1938	S			0,054 à 0,066	
DUKES	1943 1955	S	3,199	0,212	0,09 à 0,12	0,03 à 0,08
LIEGEOIS & Coll.	1945	S		0,114 (0,100 à 0,120)	0,049 (0,045 à 0,058)	
RUSOFF & Coll.	1946	P		0,1089 à 0,1156	0,0502 à 0,0577	
PAYNE & Coll.	1946	S		(0,09 à 0,130)	(0,047 à 0,073)	
KOHL	1950	P	3,530	0,180	0,095	0,0808
EATON & Coll.	1952	S		0,206	0,1021	
LONG & Coll.	1952	S		0,101 à 0,122	0,035 à 0,075	
HUTTEN & Coll.	1952	S		0,098 (? à 0,172)	0,043	
HANSARD & Coll.	1954	S		0,089 à 0,132		
MAGNANI	1955	S		0,109 $\pm$ 0,004 0,100 $\pm$ 0,005	0,0378 $\pm$ 0,0096 0,0307 $\pm$ 0,0046	
DE FRANCISCIS	1957	S	3,20 (2,87 à 3,63)	0,151 (0,109 à 0,226)	0,099 (0,07 à 0,16)	
Résultats du présent travail :						
Moyenne :		P	P	S	Sang	S
Écart type :		3,1107 0,116	0,1854 0,0148	0,10031 0,00877	0,05693 0,01063	0,13178 0,02169
Soit écart maximum avec une sécurité de 99 % :		2,81 à 3,41	0,147 à 0,224	0,077 à 0,123	0,030 à 0,084	0,076 à 0,188

(P = plasma ; S = sérum, valeurs exprimées en g par litre).

2° Relations entre les variables urinaires et sanguines.

Les données bibliographiques sur la calciurie et la phosphaturie sont rares, reposent généralement sur un faible nombre de mesures, et ne tiennent pas compte des variations nycthémérales. Même lorsqu'on cherche, comme nous l'avons fait, à réduire l'importance de ces dernières en effectuant les prélèvements toujours à la même heure, on observe une dispersion très importante ; les courbes de fréquence (fig. 3 et 4) présentent une dissymétrie très nette. L'analyse mathématique indique que de telles courbes résultent souvent de l'influence d'un effet de seuil, qui pourrait être, dans le cas de l'élimination urinaire du phosphore, celui de l'action phosphaturique de la thyroxine. Dans le cas où apparaissent de tels effets de seuil pour une variable donnée (P urinaire), il est intéressant de comparer, pour chacune des autres variables, les valeurs obtenues avant seuil à celles obtenues après ce seuil. Nous avons dans ce but calculé les tests de différence entre les moyennes de quelques variables correspondant aux valeurs de P urinaire groupées avant et après le seuil de 0,01 (fig. 4). En ce qui concerne les deux variables indépendantes envisagées, on observe que la différence n'est significative que pour la température, les valeurs élevées de celle-ci étant associées aux faibles valeurs de P urinaire, et les températures les plus fortes aux fortes valeurs de P urinaire ; or, il résulte de la confrontation des figures 6 *bis* et 7 qu'il y a eu coïncidence, au cours de l'expérience, entre les périodes d'activité métabolique faible et les températures relativement élevées, et inversement.

Les relations entre les variables plasmatiques et urinaires peuvent être envisagées, chez les bovins, principalement dans le sens plasma-urine. En effet, l'élimination urinaire de Ca et P chez les bovins est très faible, puisqu'elle représente, selon KLEIBER et LUCK (1956), respectivement 1 p. 100 et 0,6 p. 100 de l'élimination fécale totale, et 2,6 et 1 p. 100 de l'excrétion fécale endogène. On peut donc penser que les variations de l'élimination urinaire influenceront peu, tout au moins dans les conditions normales, le niveau plasmatique de Ca et P, et que c'est plutôt ce dernier qui influence le niveau urinaire de Ca et P.

On observe effectivement (tableau II) que le phosphore minéral sanguin et le phosphore sérique total sont tous deux en corrélation positive avec la phosphaturie. Le calcium sérique est également en corrélation positive avec le Ca urinaire. Le phosphore total sérique et le P minéral d'une part, le Ca sérique d'autre part, exercent une influence négative, les premiers sur le calcium urinaire, le second sur la phosphaturie, ce qui résulte de leur relation inverse au niveau sanguin.

On observe, par ailleurs, une corrélation négative hautement signi-

ficative entre Ca et P urinaires, ce qui est en accord avec la relative constance du produit $\text{Ca} \times \text{P}$ urinaire, phénomène signalé par LARVOR et BROCHART (1959). On remarquera de plus que le coefficient de variation du produit $\text{Ca} \times \text{P}$ est de 129,2 p. 100 alors que celui de Ca urinaire est de 143,4 p. 100 et celui de P 177, 6 p. 100.

TABLEAU X

*Comparaison des valeurs moyennes avant seuil
et après seuil pour quelques variables
(en unités des variables réelles ou transformées).*

Variables	Avant seuil (faibles valeurs)		Après seuil (fortes valeurs)		Test de différence entre les 2 groupes
	μ	σ	μ	σ	
Température	9,4	5,58	6,6	4,36	4,95 ++
P alimentaire	4,6	1,87	4,4	1,24	0,939 NS
P sérique total	12,6	2,18	14,5	1,68	7,11 ++
P minéral sang.....	5,4	1,09	6,3	0,91	6,4 +-
Ca sérique.....	10,2	0,93	9,8	0,88	3,1 ++
Ca urinaire	9,3	6,77	2,6	2,72	10,3 ++
$\text{Ca} \times \text{P}$ urinaire	3,9	4,29	11,7	10,05	6,3 ++
P fécal	9,2	3,77	9,6	2,67	0,383 NS
Ca fécal.....	2,5	0,88	2,4	0,7	0,969 NS
a/P fécal.....	2,9	2,14	2,5	1,26	1,724 +

L'influence positive de K et Na plasmatiques sur Ca urinaire résulte, pour le premier, de la corrélation K-Ca-P alimentaire, et pour le second, de son action positive sur la calcémie (tableau III).

3° Relations entre les variables sanguines et fécales.

La répartition normale des valeurs fécales de Ca et P suggère que l'élimination fécale dépend de l'influence d'un grand nombre de facteurs à action additive, ce que paraît confirmer la pluralité des facteurs influençant l'élimination fécale, alors que la concentration urinaire dépend de façon prépondérante de l'activité thyroïdienne.

Le sens des relations entre les variables sanguines et fécales est plus délicat à interpréter que dans le cas précédent. En effet, il ne nous est pas possible de différencier, dans notre expérience, ce qui revient, dans l'élimination fécale, au Ca et P endogènes et au Ca et P exogènes. Le ni-

TABLEAU XI
Moyennes mensuelles des principales variables étudiées.

Mois	Température moyenne	Variation mensuelle de la durée du jour	Activité thyroïdienne		Apports alimentaires (grammes)				Sang					Urine (p. 1000)		Fèces (p. 1000 M. S.)		Pois (p. 1000)				
			Selon SORESENSEN (PBI)	Selon HENNEMAN & Coll. (thyroxine)	P	Ca	Na	K	P min. (mg 100 cc)	P tot sérique (mg 100 cc)	Ca (mg 100 cc)	Na (p. litre)	K (p. litre)	P	Ca	P	Ca	P	Ca	Mg	Na	K
Juillet	17,4	— 58'	2,8	4	28	109	11	120	5,5	10,8	10,4	3,11	0,192	0,038	0,15	7,3	36,0	0,161	0,45	0,061	0,107	0,102
Août	17,9	+ 1h36'	2,2		45	126	24	90	5,9	12,2	8,9	3,07	0,189	0,058	0,07	7,8	20,3	0,166	0,39	0,045	0,094	0,087
Septembre	12,2	+ 1h46'	3,9	14	43	121	24	100	5,5	11,6	10,5	3,06	0,175	0,057	0,10	8,4	25,8	0,177	0,38	0,047	0,096	0,086
Octobre	9,1	+ 1h48'	4,3		46	112	40	101	5,8	12,2	10,4	3,09	0,185	0,260	0,06	10,8	22,9	0,175	0,34	0,036	0,083	0,069
Novembre	4,4	+ 1h26'	3,6		55	115	37	126	6,6	12,6	10,1	3,06	0,178	0,240	0,04	12,8	20,3	0,177	0,33	0,036	0,082	0,066
Décembre	57	— 1h26'	3,6		50	117	18	142	6,2	13,7	9,4	3,07	0,183	0,270	0,05	11,6	21,1	0,172	0,33	0,043	0,084	0,080
Janvier	58	+ 1h6'	4,7	15	50	118	17	136	6,2	12,9	9,8	3,05	0,186	0,350	0,08	13,3	22,4	0,173	0,33	0,042	0,054	0,084
Février	58	+ 1h33'	4,5		58	134	20	143	5,6	13,2	9,9	3,19	0,192	0,190	0,08	13,9	19,7	0,178	0,36	0,046	0,151	0,131
Mars	58	+ 1h53'	6,3	20	58	151	45	138	5,5	14,5	9,5	3,17	0,193	0,490	0,03	13,5	25,7	0,180	0,37	0,047	0,193	0,180
Avril	58	+ 1h42'	3,3		56	150	55	118	3,4	16,4	9,8	3,15	0,190	0,340	0,03	19,2	30,3	0,175	0,36	0,050	0,206	0,155
Mai	58	+ 1h19'	4,0	17	34	63	52	81	4,9	14,4	10,3	3,13	0,190	0,460	0,10*	7,9	19,9	0,172	0,35	0,050	0,214	0,139
Juin	12,5	+ 14,4'	3,5		33	55	56	95	5,2	15,2	10,7	3,12	0,185	0,320	0,02	6,3	17,0	0,152	0,42	0,050	0,145	0,120

(Seules les corrélations entre les teneurs des poils et les autres variables ont été calculées à partir de ces moyennes. Toutes les autres corrélations ont été calculées à partir des 216 valeurs individuelles).

* Valeur anormale due à une période de rétention urinaire, lors d'un changement de régime.

veau plasmatique de Ca et P peut être le reflet de l'absorption intestinale, avec, dans ce cas, une relation négative prévisible entre les valeurs fécale et plasmatique ; le niveau fécal peut être le reflet de la sécrétion endogène avec, dans ce cas, une relation positive prévisible, les deux phénomènes jouant concurremment et avec des proportions variables selon les apports alimentaires et la saison.

Le sens de ces relations peut toutefois, dans une certaine mesure, être prévu en fonction de la répartition des fractions endogène et exogène, telle qu'elle a été étudiée par KLEIBER et LICK (1956) à l'aide des radio-éléments : selon ces auteurs, le Ca et le P endogène représentent respectivement 41 et 66 p. 100 de l'élimination fécale totale.

Nous observons une corrélation positive phosphore minéral sanguin — P fécal, ce qui tendrait à confirmer la nature surtout endogène du P fécal. La corrélation négative Ca sérique — Ca fécal (fig. 10) n'est pas significative, ce qui tendrait à montrer que l'excrétion fécale de Ca ne dépend pas de façon prépondérante d'une sécrétion endogène ou de l'apport exogène, mais d'une combinaison de ces deux influences.

La relation négative entre Ca sérique et P fécal semble due à la corrélation négative Ca sérique — P minéral. La relation négative phosphore total sérique — Ca fécal est due à l'action du P alimentaire, qui est en corrélation positive avec le P sérique total et négative avec le Ca fécal (tableau III).

E. — Relations entre la composition des poils en Ca, P, Na, K et les autres variables.

1° Corrélations générales. — Les corrélations significatives suivantes ont été fournies par la matrice générale des corrélations (tableau II ; les seuils de signification à 1 p. 100 (xx) et 5 p. 100 (x) sont respectivement de 0,487 et 0,381, compte tenu du fait qu'il y a eu sept déterminations de la composition minérale des poils pour chaque vache, soit 27 degrés de liberté) :

a) corrélation avec les facteurs climatiques : durée du jour-sodium des poils + 0,403 (x) ;

b) corrélations avec les facteurs alimentaires :

K alimentaire-P des poils + 0,468 (x) ;

Na alimentaire-Na des poils + 0,603 (xx) ;

Na alimentaire-K des poils + 0,458 (x) ;

c) corrélations avec les facteurs sanguins :

K plasmatique-K des poils + 0,406 (x) ;

P minéral sanguin — Mg des poils — 0,414 (x)

« Ca « — 0,319

« P « — 0,380 (x)

« Na « — 0,440 (x)

P minéral sanguin — K « — 0,437 (x) ;

d) corrélations avec les facteurs urinaires :

P urinaire — P des poils — 0,470 (x)

« Ca « — 0,437 (x)

« Mg « — 0,565 (xx)

Ca urinaire — P des poils + 0,465 (x)

« Ca « + 0,312

« Mg « + 0,439 (x) ;

e) corrélations entre les minéraux des poils : tous les minéraux des poils sont liés par des corrélations positives, pour la plupart hautement significatives.

Les phénomènes essentiels que révèlent ces corrélations sont de deux ordres :

1° La minéralisation des poils est un phénomène global, intéressant tous les minéraux du poil.

2° Le degré de minéralisation global est en relation négative avec le phosphore minéral du sang, la concentration en P, Ca et Mg étant, de plus, en corrélation négative avec le phosphore urinaire, et positive avec le calcium urinaire.

Nous retrouvons dans ces dernières corrélations les corrélations liées au couple de vaches déjà observées lors de l'identification du facteur 2. En effet, le niveau de minéralisation global des poils du couple E-S a été constamment inférieur à celui du couple I-III ; nous rappellerons que le premier couple a présenté des valeurs de P total sérique, de P minéral et de P urinaire constamment supérieures à celles du deuxième couple (fig. 6 bis). Il y a donc une relation inverse entre l'activité métabolique, telle qu'elle s'exprime par le niveau du métabolisme du phosphore, et la minéralisation des poils, qui apparaissent donc comme un tissu non prioritaire dont la minéralisation ne s'opère à un haut niveau que s'il n'y a pas compétition de la part d'autres tissus. Dans la mesure où la relation négative activité métabolique-degré de minéralisation des poils exprime la relation activité thyroïdienne-degré de minéralisation des poils, on peut ainsi expliquer de façon satisfaisante les relations négatives antérieurement observées par nous (BROCHART, 1957 ; BROCHART, COLEOU et LARVOR, 1959) dans divers élevages entre la teneur minérale des poils en Ca ou P et la production laitière ou la fertilité, toutes deux dépendantes dans une large mesure de l'activité thyroïdienne.

On notera enfin que les apports alimentaires ou les minéraux plasmatiques autres que le phosphore minéral sanguin influencent peu les minéraux des poils (à l'exception du sodium alimentaire et du potassium plasmatique). Ces constatations sont en opposition avec des résultats antérieurs publiés par l'un de nous (BROCHART, 1957) ; ce problème sera discuté plus loin.

2° **Évolution saisonnière.** — Nous avons utilisé pour cette étude les moyennes des quatre valeurs individuelles des sept prélèvements de poils effectués au cours de la période expérimentale d'un an, en y ajoutant la moyenne des valeurs d'un prélèvement effectué après la fin de

FIG. 11. — Relations entre la teneur des poils en Ca et P et l'activité thyroïdienne.

cette période expérimentale, afin de compléter le cycle annuel d'évolution de la composition des poils.

On observe (fig. 11) qu'il existe tant pour P que Ca un cycle annuel très net, indépendant des variations sanguines (moyennes mensuelles pour les quatre vaches), et que P et Ca des poils sont liés par une corrél-

lation négative hautement significative ($r = -0,706$; seuil à 1 p. 100 pour 11 degrés de liberté = 0,683). Cette corrélation n'est pas en contradiction avec les corrélations fournies par la matrice globale : elle exprime le fait qu'il existe un cycle annuel des valeurs de P des poils inverse de celui de Ca, les valeurs de chaque individu restant toutefois liées

FIG. 12. — Relation entre la teneur en Na et K des poils et la photopériode.

négativement au P minéral sanguin et au P urinaire. En d'autres termes, les valeurs de P et Ca des poils de chaque individu (et de chaque couple) oscillent selon un cycle annuel autour d'un niveau général qui, lui, est conditionné par l'activité métabolique individuelle, et donc, en dernière analyse, probablement par l'activité thyroïdienne.

Le déterminisme de ce cycle saisonnier des valeurs de P et Ca des

poils est probablement fonction du cycle annuel d'activité thyroïdienne ; en utilisant les données de SORENSEN (1958) établies chez les bovins, et de HENNEMAN et coll. (1955), obtenues chez les ovins, on observe les corrélations suivantes entre l'activité thyroïdienne saisonnière et le P des poils :

P des poils - activité thyroïdienne selon SORENSEN :

$$r = + 0,907 \text{ (sign. 1 p. 100)}$$

P des poils - activité thyroïdienne selon HENNEMAN et coll. :

$$r = + 0,532 \text{ (sign. 5 p. 100)}.$$

Toutefois, ce ne peut être l'action de la thyroïde sur le métabolisme du phosphore qui détermine le cycle des valeurs de P des poils, car les valeurs de P des poils devraient être minimum au maximum d'activité thyroïdienne, et inversement, alors que nous observons le phénomène opposé. Il est possible que l'influence de la thyroïde sur le métabolisme du phosphore soit masquée, au niveau des poils, par la puissante action exercée sur la croissance de ceux-ci, à moins que l'on admette que les poils constituent en hiver un tissu prioritaire (chez les sujets très jeunes, on constate également que la phosphatémie et le P des poils sont tous deux très élevés).

L'évolution cyclique inverse du calcium est par contre en accord avec l'action de la thyroxine sur le métabolisme calcique, puisque les valeurs minimum du Ca des poils sont atteintes en hiver, donc au maximum d'activité thyroïdienne. C'est également en hiver que le taux de mélanine, qui contrôle en partie le taux calcique des poils, est minimum.

Alors que Ca et P des poils suivent fidèlement les variations de l'activité thyroïdienne, Na et K des poils sont en relation beaucoup plus nette avec la photopériode (fig. 12). Il est vraisemblable que Na et K des poils sont toutefois également influencés par la thyroïde, mais ne répondent à la stimulation de cette glande qu'à partir d'un certain seuil, qui est peut-être le seuil d'activité susceptible de provoquer la mue. On observe en effet que la brusque augmentation de Na et K des poils entre janvier et février correspond à un taux d'accroissement important de l'activité thyroïdienne.

Alors que Ca et P des poils sont manifestement indépendants des variations sanguines de P minéral, de P total sérique ou de Ca sérique, les variations de Na et K des poils paraissent être plus en rapport avec Na et K plasmatiques (fig. 12).

Les corrélations entre Na-K des poils, Na-K plasmatiques et la photopériode sont les suivantes :

Na poils-photopériode : + 0,766 (Significatif 1 p. 100).

K poils-photopériode : + 0,753 (Significatif 1 p. 100).

Na poils-Na plasmatique : + 0,839 (Significatif 1 p. 100).

K poils-K plasmatique : + 0,685 (Significatif 1 p. 100).

TABLEAU XII

Rôle des parathyroïdes dans le contrôle du métabolisme phospho-calcique chez les ruminants.

	Intervention	Espèce et stade physiologique	Action sur		Autres actions
			Calcémie	Phosphatémie	
CAMPBELL et TURNER (1942)	Parathyroïdectomie.	Chèvres.	Baisse.		
SMITH et COLL. (1956-1957)	Ablation thyroïde, parathyroïdes int. et ext.	Veaux.	Baisse.	Baisse immédiate élévation avant la mort.	Mort rapide en tétanie.
	Ablation parathyroïdes externes.	Veaux.	Sans effet.	Sans effet.	Néant.
	Ablation thyroïde et parathyroïdes int. et externes.	Chèvres gestantes.	Baisse.	Baisse.	Tétanie 1 semaine après l'opération. Disparition des symptômes après le part. Lactation nulle.
	Ablation thyroïde et parathyroïdes int. et externes.	Vaches gestantes tardives.	Baisse pendant 2/3 sem. puis retour à normale.	Baisse pendant 2/3 sem. puis s'élève quand calcémie est redevenue normale.	Pas de troubles. Lactation diminuée.
	Ablation thyroïde et parathyroïdes int. et externes ou Ablation parathyroïdes externes.	Vaches en lactation non gestantes.	Baisse transitoire.	Augmente puis normale quand calcémie rétablie.	Pas de troubles. Production de lait diminuée.
LITTLE et MATHICK (1933)	Injection 2 000 à 3 000 U.I. parathormone.	Vaches 3 à 5 jours avant le part.	Action non significative.		
ROBINSON et COLL. (1927)	Injection grandes quantités de parathormone.	Veaux.	Augmente.	Baisse.	
HUBBS et COLL. (1947)	2 000-3 000 U.I. parathormone en sous-cutanée.	Vaches.	Faible augmentation	Faible augmentation.	
LOTZ et COLL. (1954)	1 000-3 000 U.I. parathormone.	Mouton.	Nulle.	Augmente.	Squelette libre du P mais pas de Ca. Légère augmentation du P urinaire.
KENDALL et HARSBARGER (1958)	1 000 U.I. parathormone.	Vaches tarées.	Nulle.	Nulle.	Flux urinaire doublé. Concentration de Ca et P urinaire augmentée.

Na-plasma-photopériode : + 0,708 (Significatif 1 p. 100).

K plasma-photopériode : + 0,610 (Significatif 5 p. 100).

Dans ces conditions, il est vraisemblable que les variations mensuelles de Na et K des poils sont dues principalement aux phénomènes de mue et de croissance du poil, et, pour une part plus restreinte, aux modifications du métabolisme de Na et K, ces deux groupes de phénomènes étant eux-mêmes sous la dépendance de la photopériode.

IV. — DISCUSSION GÉNÉRALE

A. — Conditions expérimentales.

1^o Bien que nous ayons utilisé 2 couples de jumelles univitellines, on pourra s'étonner du fait que nous n'avons pas analysé la variabilité intra-couple des diverses variables étudiées. Cette recherche doit faire l'objet d'une publication ultérieure.

2^o Nos animaux ayant été entretenus pendant un an en stabulation, et ayant reçu une alimentation qualitativement constante (à l'exception d'une courte période, et pour un seul couple), ceci a sans doute permis une mise en évidence des facteurs saisonniers plus facilement que dans les conditions normales, où le changement important de régime alimentaire, lors du passage de la stabulation à l'herbage, vient ajouter ses effets à ceux des variations climatiques. Toutefois, si les apports alimentaires en Ca-P-K ont peu varié qualitativement au cours de la période expérimentale, ils ont cependant présenté une évolution cyclique, apparemment annuelle, sur le plan quantitatif ; cette évolution n'était pas prévue initialement, et a parfois gêné l'interprétation des résultats. On a vu, néanmoins, que l'influence de cette évolution cyclique des apports minéraux du point de vue quantitatif pouvait être nettement différenciée de l'influence saisonnière.

3^o La signification de la mesure hebdomadaire de la concentration minérale d'un échantillon de fèces ou d'urine peut être contestée. En ce qui concerne les fèces, et dans nos conditions expérimentales, nous pensons que cette mesure est valable, et indique réellement le niveau d'élimination fécale, étant donné : a) la stabilité de la concentration fécale en minéraux au cours du nyctémère (LARVOR et BROCHART, 1959), b) le fait que la quantité de matière sèche ingérée ayant peu varié au cours de l'expérience, le poids de fèces éliminé a été relativement constant. Étant donné que 98 à 99 p. 100 de l'élimination totale de Ca et P s'opère par voie fécale, on peut donc considérer qu'un dosage hebdomadaire de la concentration fécale de Ca et P a de fortes chances de représenter assez fidèlement le niveau d'élimination phospho-calcique. Si, par ailleurs, on souscrit à la thèse très convaincante de DUNCAN (1958) sur le peu de validité

des mesures de bilan à long terme, on en arrive à la conclusion qu'un échantillonnage de fèces, prélevé avec une périodicité à définir selon les conditions expérimentales, permet de se faire une idée de l'évolution de l'élimination phospho-calcique au cours d'une durée de plusieurs mois.

La validité d'un échantillon hebdomadaire d'urine, même prélevé à l'heure où la variabilité est la plus faible, est plus contestable, étant donné les variations importantes de la concentration minérale et du flux urinaire en fonction du nycthémère et de la température ; néanmoins, à condition d'effectuer les prélèvements à heure fixe, et lorsque la variabilité est minimum, la mesure de Ca et P urinaires peut contribuer à l'estimation du niveau d'élimination de ces éléments. Il ne saurait, par contre, être question d'apprécier par ce moyen le niveau d'élimination de K et Na, étant donné la part importante que joue l'élimination urinaire dans l'excrétion de ces minéraux (respectivement, selon VAN DER HORST et HENDRIKS (1958), 90 et 75 p. 100, non compris l'excrétion par le lait).

4° Le grand nombre de facteurs envisagés dans cette étude a nécessité une interprétation statistique parfois délicate. Il nous a semblé cependant utile d'étudier notamment le rôle des facteurs climatiques sur le métabolisme de Ca-P et de K-Na d'une part, et des interférences pouvant exister entre ces 2 groupes de métabolites d'autre part, ces divers problèmes ne semblant pas avoir été approfondis dans le passé. Jugeant que nous avions suffisamment de facteurs en cause dans cette étude, nous avons volontairement négligé le rôle de la vitamine D, en nous assurant de la constance relative de ce facteur par une distribution quotidienne de cette vitamine, à une dose devant assurer les besoins minima.

Cette constance du facteur vitaminique D a peut-être permis une mise en évidence plus facile de l'action des autres facteurs, alors que dans les conditions naturelles le taux de vitamine D subit des oscillations importantes.

B. — Le métabolisme phospho-calcique des bovins.

Celui-ci présente des caractères spécifiques qu'il convient de souligner avant d'interpréter des résultats obtenus dans cette espèce, ou d'extrapoler aux bovins les résultats obtenus avec d'autres espèces : 1) étant donné la composition des fourrages ingérés par les bovins, la carence calcique paraît être rare ; la carence phosphorique est, par contre, beaucoup plus fréquente, 2) le contrôle parathyroïdien du métabolisme phospho-calcique, peut-être biologiquement adapté à ce type particulier d'apport, paraît assez différent de celui observé chez les carnivores, les rongeurs et l'homme. En effet, chez ces espèces, il est démontré que la parathormone entraîne a) l'ostéolyse, b) l'élimination accrue de phos-

phore par voie urinaire, du fait d'un abaissement du seuil rénal d'élimination des phosphates, c) l'hypophosphatémie.

Chez les bovins (tableau XII), la parathormone paraît n'influencer la phosphatémie qu'à des doses extra-physiologiques (ROBINSON et Coll, 1927), ou uniquement chez la vache en lactation (STOTT et SMITH, 1957). De toute façon, la perte de P par voie urinaire provoquée par la parathormone ne peut représenter en général qu'une faible fraction de l'élimination totale de P qui, chez les bovins, s'effectue essentiellement par voie fécale (KLEIBER et LUICK, 1956). L'élimination urinaire de P représente donc un témoin du niveau des apports alimentaires ou de l'activité métabolique et endocrinienne, mais ne peut contribuer de façon importante au métabolisme de cet élément, tout au moins dans les conditions normales. A l'appui de l'hypothèse d'une adaptation biologique du rôle de la parathormone au type d'apport phospho-calcique propre aux ruminants, on peut noter que LÖTZ et coll. (1954) ont démontré, à l'aide des radio-éléments, que, chez le mouton, la parathormone provoque au niveau de l'os uniquement la libération de phosphore.

La réaction hyper parathyroïdienne « classique » n'est observée, chez les bovins qu'après une longue période de carence calcique et phosphorique associée. On observe alors de l'hypercalcémie, de l'hyperphosphaturie (en dépit de la carence phosphorique) et de l'hypophosphatémie ; ces réactions d'ailleurs fugaces ont été obtenues par nous postérieurement à la période expérimentale faisant l'objet du présent travail, et seront décrites ultérieurement.

Dans le cas d'apports phospho-calcique et vitaminique D suffisants, les facteurs principaux agissant sur le métabolisme phospho-calcique paraissent être donc, par ordre d'importance décroissants : a) l'apport phosphorique alimentaire, b) l'activité thyroïdienne, c) la capacité d'assimilation intestinale, d) la photopériode.

L'assimilation du phosphore alimentaire paraît s'exercer préférentiellement à celle de Ca ; en effet, on note que lors d'apport phosphorique et calcique suffisant ou élevé, il y a un déplacement vers les valeurs élevées du P sérique, avec réduction corrélative du Ca sérique, mécanisme qui est sans doute régi par la loi de constance du produit $\text{Ca} \times \text{P}$ sérique. Au niveau rénal, l'excrétion de Ca et P paraît dépendre d'un simple phénomène de filtration-réabsorption, et peut-être d'une action phosphaturique des hormones thyroïdiennes.

Il semble bien qu'il faille accorder un rôle décisif dans le contrôle endocrinien du métabolisme phospho-calcique à la thyroïde, et non, comme nous l'avions estimé précédemment (BROCHART, 1957), à la parathyroïde. En effet, dans la mesure où le phosphore des poils paraît être un témoin indirect de l'activité métabolique, et donc, en dernière analyse, de l'activité thyroïdienne, il apparaît que la capacité de production

laitière dépend de ce niveau d'activité thyroïdienne individuelle (BROCHART, COLEOU et LARVOR, 1959). Les besoins alimentaires et les possibilités de carences éventuelles dépendent évidemment de ce niveau d'activité thyroïdienne. Chez une vache à faible activité métabolique, la carence phospho-calcique paraît être un hasard assez improbable avec la plupart des rations classiques. Par contre, chez les grandes laitières, dont les besoins sont élevés, et dont l'excrétion de P et Ca par voie urinaire et fécale est importante, la carence phospho-calcique présente une probabilité beaucoup plus élevée, qui pourrait même avoir un caractère obligatoire chez les hyperthyroïdiennes (cas des vaches à bilan négatif « obligatoire » dans les premiers mois de lactation, et qui ne peuvent réajuster leur production au niveau des apports alimentaires). Chez de tels individus, la contribution des réserves squelettiques devient sans doute indispensable, et le mécanisme parathyroïdien doit entrer en jeu.

Nous nous proposons dans un prochain travail de vérifier ces hypothèses par la mesure simultanée de l'activité thyroïdienne, de la composition sanguine, de la teneur minérale des poils et de la production laitière.

L'influence du sodium alimentaire, et probablement du chlore qui lui est associé dans le sel, sur le métabolisme phospho-calcique est importante. Le sodium paraît exercer une action favorable sur l'assimilation phospho-calcique, car il réduit de façon sensible le Ca et P fécal, et augmente le Ca et P total sérique. Cette action s'inscrit sans doute dans le cadre général de l'influence positive du chlorure de sodium sur l'appétit, l'assimilation des protéines et des glucides.

La corrélation positive élevée du Ca fécal avec le facteur 4, qui contrôle l'activité de l'hormone antidiurétique, est plus difficile à expliquer. Il est possible qu'elle soit due au cycle saisonnier de l'activité thyroïdienne.

C. — Métabolisme du sodium et du potassium.

Rien ne semble indiquer que le métabolisme de ces minéraux, notamment vu sous l'angle du contrôle endocrinien, soit fondamentalement différent chez les ruminants de celui des animaux de laboratoire ou de l'homme.

La surrénalectomie (STRAND et Coll 1934 ; HOLCOMBE, 1957 ; GODING et DENTON, 1957 ; MC DONALD et Coll. 1958 ; COWIE et TINDAL, 1958) entraîne les modifications classiques de la composition sanguine : diminution de Na et du glucose, acidose, augmentation de K et du P minéral, ainsi que de l'excrétion urinaire de Na, et rétention de K. La cortisone et la DOC (HOLCOMBE, 1957 ; GODING et DENTON, 1957), ou l'implantation surrénalienne (MC DONALD et Coll. 1958), permettent

une survie prolongée ; l'excès de DOCA (GODING et DENTON, 1957) produit les mêmes effets que sur les autres espèces, sauf peut être l'augmentation de la diurèse, qui ne semble pas se manifester. L'analyse des surrénales de bovins (KAHNT et Coll. 1955 ; WETTSTEIN et Coll. 1955) a montré la présence d'aldostérone en quantités appréciables ; de même, on en trouve dans les produits de perfusion de la surrénale de bœuf *in vitro* (UNGAR et Coll. 1954). On trouve également de l'aldostérone dans le sang des bovins (NEHER et WETTSTEIN, 1955) ; l'aldostéronémie des bovins semble d'ailleurs être assez élevée, ce qui est peut-être en relation avec le rapport K/Na habituellement très fort dans leur alimentation. On peut également penser que le contrôle hypothalamique de la sécrétion d'aldostérone, démontré chez le chien par RAUSCHKOLB et L'ARRELL (1956), est également valable chez les bovins, puisque des extraits bruts de diencéphale de bœuf stimulent de façon marquée la sécrétion d'aldostérone (RAUSCHKOLB et Coll. 1957).

En ce qui concerne l'effet de l'alimentation minérale sur le taux de Na du plasma des bovins, nos résultats sont conformes à ceux de la plupart des auteurs, (tableau IV) ; le Na n'a pas d'influence, aux taux habituellement trouvés dans l'alimentation, sur le Na du plasma. Il n'en reste pas moins qu'en cas de carence ou d'excès caractérisé (même avant d'avoir atteint les premiers symptômes de toxicité), on peut observer des modifications plasmatiques de Na. De plus nous avons noté une nette influence du sodium alimentaire sur la plus ou moins grande stabilité du sodium plasmatique. Nous pensons que ce phénomène est dû au fait que dans le cas d'apports faibles en Na, l'équilibre hydrosodique de l'organisme est plus sujet à des remaniements constants.

Par contre, l'influence du K alimentaire sur le K plasmatique se révèle significative, même si elle est calculée de façon à annuler l'action des autres facteurs.

Il n'en demeure pas moins que les divers facteurs identifiés et susceptibles d'influencer le niveau plasmatique de K et Na ne représentent respectivement que 15 p. 100 et 24 p. 100 de la variation globale de ces deux minéraux. La distribution normale des valeurs de K et Na plasmatiques permet de penser qu'ils sont soumis à des influences diverses à actions additives. Il a été démontré par PALMER et Coll. (1929) qu'une autre variable sanguine, le phosphore minéral, varie en fonction des influences les plus diverses : difficulté à réaliser la saignée, ingestion d'eau froide, déplacements au dehors, durée de l'intervalle après le repas, etc... Nous avons effectué une vérification de cette variabilité des teneurs minérales du sang en effectuant 4 prélèvements de sang espacés de quelques heures au cours d'une même journée. Les résultats figurant au tableau XIII montrent que la variabilité de Na, K plasmatique, P minéral et P total sérique est presque aussi élevée pour 4 mesures effectuées au cours d'un

intervalle de 4 heures que pour l'ensemble des données obtenues au cours d'un an. L'imperfection des techniques utilisées ne rend compte que d'une fraction de cette variabilité (moins de 25 p. 100). L'essentiel de la variation des minéraux sanguins paraît donc dû à des influences aléatoires que nous n'avons pu contrôler.

TABLEAU XIII
Variabilité des minéraux du sang

	Coefficients de variation des minéraux du sang			
	1 Au cours d'un an	2 au cours de 4 h.	3 Pour 8 échantillons identiques	4 % de la variance expérimentale par rapport à la variance au cours de 4 h,
Na	3,73	3,34	1,70	25,5
K	7,93	6,50	1,50	7,4
Ca	8,74	3,23	1,78	27,8
P minéral	18,67	16,85	4,91	5,6
P total	16,46	14,46	1,04	0,5

1) 216 valeurs obtenues en 1 an sur 4 sujets.

2) 2 expériences, à chaque fois sur 2 génisses ; 4 prises de sang à 10 h, 11 h, 12 h, 14 h, soit 16 déterminations au total.

3) 8 déterminations sur 8 aliquots d'un prélèvement d'une seule vache.

D. — Facteurs saisonniers.

L'importance du rythme d'éclairement a été reconnue d'abord en ce qui concerne les fonctions de reproduction. Les auteurs s'accordent à y voir une influence sur la sécrétion des gonadotrophines hypophysaires, par l'intermédiaire de l'hypothalamus, lui-même stimulé par l'œil. Cependant, BENOIT et Coll. (1950) ont montré qu'il pouvait y avoir stimulation directe de l'hypothalamus par la lumière, éventualité qui ne semble pas avoir d'incidence pratique chez les mammifères.

La photopériode peut agir, soit par son accroissement (canard), soit par sa diminution (mouton) (YEATES, 1949; ORTAVANT et THIBAUT, 1956).

L'influence sur la fonction thyroïdienne est beaucoup moins bien connue ; KAYSER et ARON (1950) ont décrit un cycle annuel chez les hibernants (hamster), et montré qu'il n'est pas influencé par la température. Sur ce point, leurs résultats s'opposent à ceux de la majorité des chercheurs, qui constatent une augmentation de la sécrétion thyroïdienne lorsque la température baisse, et vice versa. Les travaux de HENNEMAN et Coll. (1955) chez le mouton, et ceux de SØRENSEN (1958) chez les bovins, sont particulièrement intéressants du fait que ces chercheurs ne se contentent pas d'opposer la sécrétion thyroïdienne du mouton en hiver et en été, mais la mesurent tout au long de l'année. Les courbes qu'ils obtiennent (fig. 11) montrent que si effectivement le froid hivernal

semble maintenir la sécrétion à un niveau élevé, il se superpose aux variations dues à la température un sommet de sécrétion au début du prin-

FIG. 13. — Facteurs agissant sur la composition en Ca, P, Na, K des poils.

temps, qui semble nettement lié à l'augmentation de la photopériode.

Par ailleurs, plusieurs travaux ont montré l'influence de la thyroïde sur la croissance des phanères ; HART (1954-55-57), MAQSOOD (1955),

FERGUSON et Coll. (1956, 1958), GODFREY (1958) ont trouvé que l'administration de thyroxine accroît la production de laine ; GIACOMINI (1924) et VAN DER MEULEN (1939) ont provoqué la mue chez les volailles, l'un par administration de thyroxine, l'autre par des extraits hypophysaires thyréotropes ; MOHN (1956, 1958) a établi que, chez le rat, la thyroxine stimule spécifiquement le remplacement du poil, c'est-à-dire provoque la croissance du nouveau pelage, sans avoir d'action sur le poil relativement âgé. Le mécanisme intime de ces phénomènes n'est pas encore connu, mais ils ont amené YEATES (1954) à formuler l'hypothèse très vraisemblable selon laquelle la mue serait due à une variation saisonnière de l'activité thyroïdienne, sous l'influence du complexe hypothalamo-hypophysaire, lui-même stimulé par la photopériode. Il est très vraisemblable (MAQSOOD, 1951, 1952) que la thyroïde intervient également dans le réveil sexuel saisonnier.

Dans le domaine du métabolisme minéral, un cycle saisonnier du métabolisme phospho-calcique a été mis en évidence par MULLICK et coll. (1953) qui ont signalé que la rétention phosphorique est maximum en hiver et au printemps, ce qui correspond bien à l'action de la thyroxine sur le métabolisme phosphorique (OWEN, 1948) et à l'évolution saisonnière de l'activité thyroïdienne. Il est difficile d'apprécier la part qui peut revenir dans le niveau du métabolisme phospho-calcique à l'activité métabolique intrinsèque et à ses variations saisonnières. Dans nos expériences, le facteur 4, qui est manifestement le plus lié aux variations saisonnières, n'influence que très faiblement le métabolisme du phosphore, qui paraît surtout contrôlé par l'activité métabolique non saisonnière et l'apport alimentaire en phosphore. Par contre, il existe une influence non négligeable du facteur 4 sur le métabolisme calcique, influence qui paraît correspondre à celle de la thyroxine (OWEN, 1948).

Le métabolisme de Na et K paraît par contre influencé par la photopériode. On a vu cependant que la brusque élévation de Na et K plasmatiques, accompagnée d'une augmentation parallèle de Na et K des poils, coïncide avec le maximum d'activité thyroïdienne et avec la mue, ce qui peut correspondre à une action de seuil de la sécrétion thyroïdienne. On arrive ainsi à une conception d'ensemble du rôle des facteurs saisonniers, hypothèse schématisée par la figure 13, et qui permet d'expliquer les corrélations observées entre un certain nombre de phénomènes apparemment indépendants les uns des autres.

E. — Influence des facteurs saisonniers, individuels et alimentaires sur la composition minérale des poils.

Dans un travail initial (BROCHART, 1957) sur les possibilités d'utilisation de l'analyse minérale des poils pour l'exploration de la nutrition phospho-calcique des bovins, nous avons pensé que les poils pourraient

refléter de façon passive les variations de la composition minérale sanguine. Nous pensions avoir confirmé cette hypothèse de travail par l'observation d'un certain parallélisme entre l'évolution de la calcémie et de la phosphatémie d'une part, et de la teneur en Ca et P des poils d'autre part. Les résultats du présent travail ne confirment pas, en ce qui concerne Ca et P, ces conclusions. Cette divergence peut provenir du fait que le parallélisme apparent entre l'évolution des minéraux du sang et des poils, observé dans notre travail initial, semblait exiger que l'on tienne compte dans la traduction au niveau des poils de l'évolution de la composition sanguine d'un temps de latence de deux à quatre mois, ce qui, à l'expérience, s'avère manifestement exagéré. On peut donc considérer que, en ce qui concerne Ca et P, notre hypothèse initiale était erronée et sa justification non fondée. D'après les résultats du présent travail, la teneur des poils en Ca et P paraît être fonction du degré variable de compétition pour les éléments minéraux sanguins entre les poils d'une part, et les autres tissus ou liquides organiques (mamelle, squelette, fœtus, urine) d'autre part.

En ce qui concerne Na et K, dont le rôle dans le métabolisme est fondamentalement différent de Ca et P, la teneur des poils en ces éléments paraît bien varier dans le temps parallèlement à celle des minéraux sanguins. Le niveau individuel de minéralisation des poils en Na et K dépend, par contre, comme Ca et P, de l'activité métabolique, donc d'un phénomène de compétition.

Dans les conditions de cette expérience, où les apports en Ca et P ont été presque toujours constamment supérieurs aux besoins théoriques, le phosphore et le calcium des poils ne paraissent dépendre que du niveau d'activité métabolique et de la saison. Ces résultats doivent être confrontés avec des observations antérieures, où nous avons observé une dépendance de la composition minérale des poils vis-à-vis des apports alimentaires en Ca et P, au cours d'une étude portant sur 21 élevages et 278 vaches de race Hollandaise pie-noire (BROCHART, 1957).

Les relations suivantes avaient été observées :

1^o Apports faibles en Ca et P (Ca/P variant de 1,5 à 3,5) : faible valeur du P, forte valeur du Ca des poils.

2^o Apport phosphorique faible ou moyen et apport calcique élevé (Ca/P variant de 3 à 4) :

fortes valeurs de Ca et P des poils.

3^o Apports phosphorique et calcique supérieurs aux normes, et équilibrés (Ca/P variant de 1,2 à 3) :

valeur moyenne du P, valeur faible du Ca des poils.

Les résultats du présent travail suggèrent que ces relations pourraient être le fait, au moins en partie, de l'activité métabolique intrinsèque des animaux, et donc de facteurs héréditaires. Les interférences

entre les facteurs génétiques et les facteurs alimentaires apparemment responsables des correspondances précitées sont difficiles à analyser du fait que le type d'apport 1) a été observé dans des élevages à production laitière moyenne et fertilité médiocre, le type d'apport 2) dans des élevages à production laitière moyenne et de fertilité mauvaise, et le type 3) dans les élevages d'un haut niveau de sélection, ayant de fortes productions laitières et une bonne fertilité.

Le type d'élevage 1) pourrait correspondre à des élevages où l'apport alimentaire est trop faible pour faire face aux potentialités de production, d'où un prélèvement sur les réserves osseuses mobilisées par la parathyroïde, entraînant la baisse du phosphore des poils et la surcharge calcique endogène. C'est en tout cas uniquement chez les sujets de ce groupe que nous avons trouvé une fréquence élevée de déminéralisations squelettiques.

La relation observée avec le type d'élevage 2) tendrait à montrer que l'excès calcique alimentaire réduit l'activité métabolique, d'où la surcharge calcique et phosphorique des poils. Il a été effectivement démontré chez les animaux de laboratoire (THOMPSON, 1933 ; TAYLOR, 1954) que la surcharge alimentaire calcique réduit l'activité thyroïdienne. On pourrait objecter toutefois qu'il est possible que les vaches des élevages du type 2) étaient des hypothyroïdiennes héréditaires, mais il n'y a pas de raison de penser que ce sont précisément et uniquement des vaches génétiquement hypothyroïdiennes qui recevaient une alimentation trop riche en calcium. Dans l'expérience faisant l'objet du présent travail, nos animaux ont bien été soumis durant certaines périodes à des rations comportant un Ca/P élevé, mais ces périodes ont sans doute été trop courtes (1 à 2 mois) pour permettre la mise en évidence de ce phénomène.

L'existence dans les élevages du type 3) d'un calcium faible et d'un phosphore moyen est en accord avec la relation négative entre charge minérale des poils et activité métabolique observée dans le présent travail.

Ainsi, du point de vue de l'exploration nutritionnelle phospho-calcique, l'analyse minérale des poils semble permettre de différencier :

1° Des sujets potentiellement bons producteurs, mais carencés, avec un phosphore des poils faible et un Ca élevé ;

2° Des sujets hypothyroïdiens, soit génétiquement, soit du fait d'une influence alimentaire (excès de calcium, carence en iode, antithyroïdiens naturels, etc...).

3° Des sujets à forte potentialité de production et à nutrition minérale équilibrée, présentant un phosphore des poils moyen et un calcium faible.

F. — Généralisation des résultats obtenus.

Les corrélations fournies par la matrice globale ont été obtenues à partir de quatre vaches identiques deux à deux puisqu'étant jumelles univitellines. On peut donc considérer que ces corrélations expriment principalement les liens existant entre les deux couples, les variations intra-couples étant beaucoup plus faibles que les variations inter-couples. On a vu en effet que les deux couples ont présenté, en ce qui concerne le métabolisme phospho-calcique et la teneur minérale des poils, un comportement profondément différent ; le couple E-S est caractérisé par une forte valeur du P total sérique, du P minéral, et du P urinaire, une faible valeur de la calciurie et de la charge minérale globale des poils ; le couple I-III présente des caractéristiques le plus souvent opposées.

Les corrélations significatives parfois élevées obtenues expriment donc surtout ces importantes différences inter couples. On peut dès lors se demander dans quelles mesures ces corrélations expriment des lois générales valables pour une grande population. Il est malheureusement difficile, pour des raisons matérielles, d'entreprendre une expérience analogue à la nôtre sur un grand nombre de sujets. Certains faits, que nous avons déjà signalés antérieurement (voir p. 44) permettent cependant de penser que les deux relations fondamentales mises en évidence dans ce travail, à savoir :

1^o La relation positive entre l'activité métabolique et le phosphore total sérique, le phosphore minéral et le P urinaire ;

2^o La relation négative phosphore minéral sanguin et urinaire-minéralisation globale des poils ont une valeur générale : en effet des corrélations négatives significatives ont été obtenues par nous, dans des populations très diverses, entre la production laitière et le calcium ou le phosphore des poils, ce que l'on peut valablement considérer comme une vérification de la relation négative activité métabolique-charge minérale globale des poils observée dans le présent travail.

Dans l'appréciation des résultats analytiques, il convient en outre de tenir compte de la saison où les poils ont été prélevés, étant donné l'influence des facteurs saisonniers. Il ne nous est pas actuellement possible de chiffrer la part qui revient aux facteurs saisonniers et aux facteurs individuels dans la variation globale de la teneur en minéraux des poils ; ce problème est à l'étude. Des résultats partiels indiquent que la variation due à la saison est inférieure à la variation due à l'individu.

En ce qui concerne l'exploration nutritionnelle de Na et K, la composition des poils paraît être un reflet fidèle des variations plasmatiques dans le cas du potassium et des apports sodiques dans le cas du sodium. Toutefois, alors qu'il nous a paru possible pour Ca et P, de proposer

une interprétation des interactions possibles entre les apports alimentaires et les facteurs héréditaires, il ne nous est pas possible actuellement de proposer un schéma comparable pour Na et K.

RÉSUMÉ

Quatre vaches normandes ont été entretenues pendant un an en stabulation permanente. Les apports alimentaires ont peu varié qualitativement au cours de cette période ; quantitativement, les apports de Ca, P, K ont évolué parallèlement au cours de l'expérience, selon un cycle approximativement annuel et ont été presque constamment supérieurs aux besoins théoriques. L'apport sodique, représenté surtout par du chlorure de sodium, a évolué indépendamment des apports en Ca, P, K ; la quantité de vitamine D distribuée a été relativement constante.

Nous avons mesuré chaque semaine, pendant un an, Ca et P sérique total, P minéral du sang total, Na et K plasmatiques ; la concentration urinaire et fécale de Ca et P a été mesurée à partir d'échantillons hebdomadaires prélevés aux heures où la variabilité de la teneur de ces minéraux est minimum, et en corrélation maximum avec la moyenne nycthémerale. Les poils du chignon ont été prélevés tous les deux mois et leur teneur en Ca, P, Mg, Na, K déterminée.

Les résultats de ces analyses ont été confrontés avec 1) les apports alimentaires en Ca, P, Na, K, 2) la température, la durée du jour, la pression atmosphérique, l'hygrométrie.

L'ensemble des données recueillies, soit 216 valeurs pour chacune des 26 variables, a été analysé statistiquement grâce à l'utilisation de l'ordinateur 704, dans le but d'établir la matrice globale des coefficients de corrélation, au nombre de 325. L'interprétation de ces résultats, difficilement utilisables directement en raison des interférences multiples existant entre les variables, a été poursuivie d'abord synthétiquement, au moyen de la technique de l'analyse factorielle, ensuite, analytiquement, par le calcul des coefficients de corrélations partiels.

L'analyse factorielle a permis de mettre en évidence quatre facteurs principaux de variation ; ceux-ci paraissent être : 1^o le phosphore alimentaire ; 2^o l'activité thyroïdienne ; 3^o la capacité d'assimilation ; 4^o la photopériode. Ces quatre facteurs interviennent respectivement pour 15,9-16,2-12,2 et 5,7 p. 100 de la variation globale, soit, au total, pour 50 p. 100 de celle-ci.

Le phosphore total sérique, le phosphore fécal et le phosphore urinaire sont liés par des corrélations positives au facteur 1, dont les variations s'opposent, par contre, à celles du calcium sérique, urinaire et fécal.

Le facteur 2 est lié à l'activité métabolique (croissance, production lai-

TABLEAU XIV
Résumé des principales corrélations obtenues.

[illegible]

tière) et à la saison; de ce fait, il représente vraisemblablement l'activité thyroïdienne. Le phosphore total sérique et le P urinaire sont en corrélation positive avec ce facteur, qui est en corrélation négative avec la calciurie.

Le facteur 3 est lié par une corrélation positive au Na alimentaire, et par des corrélations négatives aux apports phosphorique et calcique. L'élimination fécale de Ca et P est liée négativement au facteur 3; le calcium sérique et le phosphore total sérique sont, par contre, en corrélation positive avec ce dernier. Il existe une corrélation négative entre le facteur 3 et le phosphore minéral sanguin, qui est peut-être due à un mécanisme de régulation acido-basique du sang, rendue nécessaire par l'absorption préférentielle de l'ion Cl associé au sodium dans le sel.

Le facteur 4 contrôle l'évolution saisonnière de Na et K plasmatique, et, dans une moindre mesure, celle de la calcémie; il paraît exercer une influence négative sur l'assimilation calcique.

En dehors de ces quatre facteurs principaux, d'autres variables exercent une certaine influence sur le métabolisme de Ca-P ou Na-K :

Le Ca alimentaire exerce une action négative sur le phosphore total sérique et la phosphaturie, positive sur la calciurie, et nulle sur la calcémie. Le calcium alimentaire n'influence pas le phosphore fécal; le P alimentaire est en corrélation négative avec le Ca fécal, ce qui tend à montrer que P alimentaire influence l'assimilation calcique, mais que Ca alimentaire n'a pas d'influence sur l'absorption de P.

Le sodium alimentaire n'influence pas la natrémie mais contrôle l'amplitude des variations de celle-ci, qui sont importantes quand cet apport est faible et moindres quand l'apport sodique est élevé.

Le K alimentaire influence positivement le K plasmatique.

Une part très importante de la variation des minéraux sanguins est due à l'influence de facteurs non systématiques qui ne peuvent être identifiés (variations aléatoires qui se produisent au cours d'une même journée).

Une corrélation négative hautement significative lie le calcium sérique et le P minéral sanguin; la constance du produit $\text{Ca} \times \text{P}$ sérique paraît être un élément important de la régulation de ces métabolites au niveau sérique.

On note une relation négative entre P sérique total et P minéral sanguin, due, selon toute vraisemblance, à l'influence du chlorure de sodium alimentaire, d'une part, et aux variations de l'activité métabolique d'autre part.

On n'observe aucune relation, au niveau sérique, entre Ca-P d'une part, Na-K de l'autre.

Na et K plasmatiques sont en corrélation élevée entre eux du fait de leur dépendance mutuelle vis-à-vis de la photopériode.

Dans les conditions de l'expérience, où les apports phospho-calciques

et en vit. D ont été supérieurs aux besoins, la parathyroïde ne semble pas jouer de rôle, et la concentration urinaire de Ca-P dépend du niveau sanguin de ces minéraux, et peut-être d'une action phosphaturique thyroïdienne. On note également une corrélation négative hautement significative entre Ca et P urinaire, ce qui est en accord avec la relative constance du produit $\text{Ca} \times \text{P}$ urinaire.

La corrélation positive observée entre P minéral et P fécal semble confirmer qu'une part importante du P fécal est endogène.

Le degré de minéralisation globale des poils varie inversement à l'activité métabolique, telle que celle-ci s'exprime par le phosphore minéral sanguin et le phosphore urinaire. Il existe un cycle annuel de la composition minérale des poils dépendant des facteurs saisonniers. Les possibilités d'utilisation de l'analyse minérale des poils pour l'exploration nutritionnelle et la détermination du type métabolique individuel (thyroïdien) sont discutées.

SUMMARY

Four cows have been kept indoors on dry food only during one year; the vitamin A and D intakes have been kept constant. Ca, P, K, and Na intakes have been different during the experiment. Every week, serum Ca and total P, blood inorganic P, plasma K and Na, urinary and fecal Ca and P have been determined. Ca, P, Na, K of hairs have been measured every two months. These analytical results have been correlated *a*) within themselves *b*) with Ca, P, K, Na intakes, *c*) with temperature, length of the day, atmospheric pressure and hygrometry. The 325 coefficients of correlation for the 26 factors studied (216 values for each) and a partial factorial analysis have been calculated by an electronic machine.

Four main factors of variation have been tentatively individualized through factorial analysis; these could be: 1) P intake, 2) thyroid activity, 3) intestinal capacity of assimilation, 4) variation in the length of the day, which are responsible respectively for 15, 9-16, 2-12, 2-5, 7 % of the total variation.

The variations of factor number 1 are parallel to those of serum total P, fecal P and urinary P, and inverse to those of serum and urinary Ca.

Factor number 2 is highly correlated with urinary excretion, positively with P, negatively with Ca; this factor is also positively correlated with serum total P and blood inorganic P.

Factor number 3 is positively correlated with Na intake and negatively with Ca and P intake.

Factor number 4 is positively correlated with plasma Na and K, the evolution of which is parallel to variations of the length of the day.

Besides these four factors, a few others are exerting some influence.

Ca intake is correlated, negatively, to serum total P, urinary P, positively, to urinary Ca; the correlation with serum Ca is non significant.

K intake is positively correlated with plasma K.

Na intake is not correlated with plasma Na, the intensity of variation of which from day to day being, however, negatively dependent of Na intake. Na intake is negatively correlated with blood inorganic P, which may be due

to an associated assimilation of Cl^- (through ClNa intake), resulting in a reduction of blood PO_4 .

There is a highly significant negative correlation between serum Ca and blood inorganic P. The variations of blood or serum Ca and P on one hand, and plasma K and Na on the other, are independent. Plasma Na and K are positively correlated.

Urinary Ca and P are highly negatively correlated.

Fecal P is positively correlated with blood inorganic P ; fecal Ca is correlated only with Ca intake (positively).

Hair mineral content is negatively correlated with blood inorganic P and urinary P ; it shows an annual cycle depending of seasonal influences. The possibilities of utilization of hair mineral analysis for nutritional investigations and determination of the individual metabolic type are discussed.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDERHALDEN. — Lehrbuch der Phys. Chem. Cit. p. LIEGEOIS, 1953, 1906.
 AINES (P. D.) et SMITH (S. E.). — *J. Dairy Sci.*, **40**, 682, 1957.
 ALLCROFT (W. M.) et GREEN (H. H.). — Rapp. Congr. Vet. Zurich ; fasc. 3, Cit. p. LIEGEOIS 1953.
 APPLEMAN (R. D.) et DELOUCHE (J. C.). — *J. Animal Sci.* **17**, 326, 1958.
 BAKER (D. G.) et SELLERS (E. A.), *Canad. J. Biochem. Physiol.*, **35**, 631, 1957.
 BARBOUR (H. G.). — *Physiol. Rev.*, **1**, 295, 1921.
 BARBOUR (H. G.), MC KAY (E. A.) et GRIFFITH (W. P.). — *Amer. J. Physiol.*, **140**, 9, 1943.
 BARKER. — Institut voor Moderne Veevoeding « de Schothorst », Amersfoort (Pays-Bas) (communication personnelle), 1959.
 BASS (D. E.), KLEEMAN (C. R.), QUINN (M.), HENSCHEL (A.) et HEGNAUER (A. H.) *Medicine*, Baltimore, **34**, 323, 1955.
 BASS (D. E.) et HENSCHEL (A.). — *Physiol. Revs.*, **36**, 128, 1956.
 BASS (D. E.), BUSKIRK (E. R.), IAMPIETRO (P. F.) et MAGER (M.). — *J. Applied Physiol.*, **12**, 186, 1958.
 BAZETT (H. C.). — *Amer. Heart J.*, **21**, 423, 1941.
 BAZETT (H. C.), SUNDERMAN (F. W.), DOUPE, (J) et SCOTT (J. O.). — *Amer. J. Physiol.*, **129**, 69, 1940.
 BEISEL (W. R.), ZERZAN (C. J.), RUBINI (M. E.) et BLYTHE (W. B.). — *Amer. J. Physiol.* **195**, 357, 1958.
 BENOIT (J.), WALTER (F. X.) et ASSENMACHER (I.). — *C. R. Soc. Biol.* **144**, 1206, 1950.
 BERG (M.), MAYNE (A.) et PETERSEN (W. F.), *Amer. J. Physiol.*, **130**, 9, 1940.
 BERNDT et BETHMANN. — Biedermann's Zentralblatt, Tierernährung **6**, 292, cit. p. OYAERT, 1953, 1934.
 BIANCA (N.). — *British Vet. J.* **113**, 227, 1957.
 BINET (L.). — La lutte contre le froid. In « Traité de Physiologie normale et pathologique » T VIII, Paris. Masson, Edr. 1929.
 BODA (J. M.) et COLE (H. H.). — *J. Dairy Sci.*, **39**, 1027, 1956.
 BONVALLET (M.) et DELL (P.). — *Ann. Nutr. Alim.*, **3**, 185, 1949.
 BONVALLET (M.), DELL (P.), STUTINSKY (F. S.) et BEAUVALLLET (M.). — *C. R. Soc. Biol.*, **142**, 937, 1948.
 BROCHART (M.). — *Ann. Zoot. I. N. R. A.* (6), 155, 1957.
 BROCHART (M.), COLEOU (J.) et LARVOR (P.). — *C. R. Acad. Agric.*, Séance du 6 mai, 1959.
 BROWN (H. R. jr.), CLARK (W. F.), JONES (N.), WALTHER (J.) et WARREN (S. L.). — *J. Clin. Inv.*, **22**, 471, 1943.
 BURKHARDT (J.). — *J. Agric. Sci.*, **37**, 64, 1947.

- CAMPBELL (I. L.), et TURNER (C. W.), Cités par BODA et COLE, 1956, 1942.
 CONLEY (C. L.) et NICKERSON (J. L.). — *Amer. J. Physiol.*, **143**, 373, 1945.
 COULTHARD (A. J.). — *Clin. Chim. Acta.*, **3**, 226, 1958.
 COWIE (A. T.) et TINDAL (J. S.). — *J. Endocrinol.*, **16**, 403, 1958.
 CRAIG (A. H.) et GADD (J. D.). — Cit. par BAZETT, 1941.
 CURME (G.), EATON (H. D.), MATTERSON (L. D.), BLISS (C. I.), HELMBOLDT (C. F.), BROWN, (B. A.) et JUNGHERR (E. L.). — *J. Anim. Sci.*, **8**, 639, 1949.
 DALE (H. E.), BURGE (G. J.) et BRODY (S.). — Univ. Missouri Agric. Exp. Stat. Res. Bull. N° 608, 20 pp. 1956.
 DANIEL (O.), HATFIELD, (E. E.), SCHREWSBERRY (W. C.), GIBSON (M. E.) et MAC VICAR (R.). — *J. Anim. Sci.*, **11**, 790, 1952.
 DEB (C.) et HART (J. S.), *Canad. J. Biochem. Physiol.*, **34**, 959, 1956.
 DENNIS (J.) et HARBAUGH (F. G.). — *Amer. J. Vet. Res.*, **9**, 20, 1948.
 DOWE (T. W.), MATSUSHIMA (J.) et ARTHAUD (V. H.). — *J. Animal Sci.*, **16**, 811, 1957.
 DUKES (H. H.). — The physiology of domestic animals. 5^e et 6^e éditions. Comstock publishing company inc. Ithaca New York, 1943 et 1955.
 DULIERE (W. L.). — *C. R. Soc. Biol.*, **107**, 261, 1931.
 DUNCAN (D. L.). — *Nutrit. Abstr. Rev.*, **28**, 695, 1958.
 DU TOIT (P. J.), MALAN (A. I.) et GROENEWALD (J. W.). — *Onderstepoort J. Vet. Sci.*, **2**, 565, 1934.
 DU TOIT (P. J.), LOUW, (J. G.) et MALAN (A. I.). — *Onderstepoort J. Vet. Sci.*, **14**, 123, 1940.
 EATON (H. D.) et AVAMPATO (J. E.). — *J. Anim. Sci.*, **11**, 761, 1952..
 ECKLES (C. H.), PALMER (L. S.), GULICKSON (T. W.), FITCH (C. P.), BOYD (W. L.), BISHOP (L.) et NELSON (J. W.). — *Cornell Vet.*, **25**, 22, 1935.
 ELLIS (B. C.). — *S. Afr. J. Med. Sci.*, **18**, 45, 1953.
 ENDER (F.) et HELGEBOSTAD (A.). — *Nordisk Veterinaermedicin*, **9**, 881, 1957.
 FERGUSON (K. A.), SCHINCKEL (P. G.), CARTER (H. B.) et CLARKE (W. H.). — *Austr. J. Biol. Sci.*, **9**, 575, 1956.
 FERGUSON (K. A.). — *Proc. New Zealand Soc. An. Product.*, **18**, 128, 1958.
 FRANCISCIS (G. de). — *Boll. Soc. Ital. Biol. Sperim.*, **33**, 1, 1957.
 GIACOMINI (E.). — Rpt. 2 nd World's Poultry Congress. p. 45, Cité par YEATES, 1954, 1924.
 GIBSON (A. G.). — *Quart. J. Med.*, **3**, 52, 1909.
 GODFREY (N. W.). — *Proc. Austral. Soc. Animal Produc.*, **2**, 129, 1958.
 GODING (J. R.) et DENTON (D. A.). — *Austr. J. Exper. Biol. Med. Sci.*, **35**, 301, 1957.
 GROENEWALD (J. W.). — *Onderstepoort. J. Vet. Sci.*, **4**, 93, 1935.
 GUILLAUMIN (C. O.). — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **12**, 491, 1930.
 GUILLAUMIN (C. O.) et VIGNES (M.). — *C. R. Soc. Biol.*, **99**, 753, 1928.
 HAAG (J. R.) et JONES (I. R.). — *J. Biol. Chem.*, **110**, 439, 1935.
 HANNON (J. P.), LARSON (A. M.) et YOUNG (D. W.). — *J. Appl. Physiol.*, **13**, 239, 1958.
 HANSARD (S. L.), COMAR (C. L.) et DAVIS (G. K.). — *Amer. Physiol.* **177**, 1383, 1954.
 HANSSON (A.). — *Acta Agric. Suecana*, **3**, 59, 1948.
 HART (D. S.). — *Nature*, **174**, 1018, 1954.
 HART (D. S.). — *Proc. N. Z. Soc. An. Prod.*, **15**, 57, 1955.
 HART (D. S.). — *N. Z. Vet. J. Res. Publ.*, **62**, 1957.
 HENNEMAN (H. A.), REINEKE (E. P.) et GRIFFIN (S. A.). — *J. Anim. Sci.*, **14**, 419, 1955.
 HIBBS (J. W.), POUNDEN (W. D.) et KRAUSS (W. E.). — *J. Dairy Sci.*, **30**, 564, 1947.
 HIGOUNET (H.). — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **19**, 53, 1937..
 HOLCOMBE (R. B.). — *Acta endocrinologica.*, **26**, Suppl. n° 34, 1957.

- HUEY (D. M.) et HOLMES (J. H.). — *Fed. Proc.*, **9**, 64, 1950.
- HÜTTEN (N.) et UHLENBRUCK (K.). — *Dtsche tierärztl. Wschr.*, **59**, 5, 1952.
- JACKSON (R. A.). — Cité par BASS et COLL (1955), 1795.
- JARL (F.). — *Kgl. Lantbrukshögsk. Ann.*, **20**, 151, 1953.
- KAHNT (F. W.), NEHER (R.) et WETTSTEIN (A.). — *Helv. Chim. Acta.*, **38**, 1237, 1955.
- KAYSER (C.) et ARON (M.). — *Archiv. Anat. Histol. et Embryol.*, **33**, 1 & 21, 1950.
- KELLY (F. C.). — *Biochem. J.*, **19**, 559, 1925.
- KENDALL (K. A.) et HARSHBARGER (K. E.). — *J. Dairy Sci. (Abstr.)*, **41**, 729, 1958.
- KISELYEV (G. I.). — *Ukr. Biokh. Zh.*, **30**, 724, 1958.
- KLEIBER (M.) et LUICK (J. R.). — *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **64**, 299, 1956.
- KOBAYASHI (O.) et KODAMA (B.). — *Mei Med. J.*, **5**, 1, 1955.
- KOBAYASHI (O.) et KODAMA (B.). — *Mei Med. J.*, **8**, 97, 1958.
- KOHL (P.). — Thèse de pharmacie, Paris, 1950.
- KUNKEL (H. O.), BURNS (K. H.) et CAMP (B. J.). — *J. Anim. Sci.* **12**, 451, 1953.
- LAING, — Cité par YEATES, N. T. M., 1954.
- LARVOR (P.) et BROCHART (M.). — *Ann. Zoot. INRA* (1), 57, 1959.
- LEHMANN (G.) et SZAKALL (A.). — *Arbeitsphysiologie*, **10**, 608, 1938/39.
- LENNON (H. D.) et MIXNER (J. P.). — *J. Dairy Sci.*, **42**, 327, 1959.
- LEULIER (A.). — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **15**, 158, 1933.
- LEWIS (J. K.), BURKITT (W. H.) et WILSON (F. S.). — *J. Animal Sci.*, **10**, 1053, 1951.
- LIEGEOIS (F.). — *Ann. Méd. Vét.*, **97**, 135, 1953.
- LIEGEOIS (F.), DERIVAUX (J.) et HENNAUX (L.). — *Ann. Méd. Vét.*, **89**, 1, 1945.
- LINHARD (J.), BUSSON (F.), TRAPET (P.), GIRAUD (P.), LECOCQ (F.) et GUYONNET (C.). — *Méd. Trop.*, **13**, 530, 1953.
- LITTLE (W. L.) et MATTICK (E. C. V.). — *Vet. Record.*, **13**, 238, 1933.
- LONG (R. A.), VAN ARSDELL (W. A.), MAC VICAR (R.) et ROSS (O. B.). — *Oklahoma Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* **43**, 1952.
- LOTZ, TALMAGE et COMAR. — *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.* **85**, 292, 1954, cités par SMITH, STOTT et WALKER, 1957.
- MAGNANI (G.). — *La Clinica Veterinaria*, **79**, 97, 1956.
- MAQSOOD (M.). — *Nature*, **168**, 466, 1951.
- MAQSOOD (M.). — *Biological Rev.*, **27**, 281, 1952.
- MAQSOOD (M.). — *Brit. Vet. J.* **111**, 163, 1955.
- MARXER. — *Bull. Mens. Soc. Vet. Prat.*, **6**, Cit. p. LIEGEOIS & Coll., 1945, 1929.
- MAXFIELD (M. E.), BAZETT (H. C.) et CHAMBERS (C. C.). — *Amer. J. Physiol.*, **101**, 78, 1939.
- MCDONALD (I. R.), GODING (J. R.) et WRIGHT (R. D.). — *Austral. J. Exper. Biol. Med. Sci.*, **36**, 83, 1958.
- MEHROTRA (P. N.), MULLICK (D. N.) et KEHAR (N. D.). — *J. Anim. Sci.*, **13**, 1026, 1954.
- MEIGS (F. B.) et BLATHERWICK (W. R.). — Cités par BODA et COLE, 1956, 1917.
- MEIGS (F. G.), TURNER (W. A.), SWANN-HARDING (T.), HARTMAN (A. M.) et GRANT (F. M.). — *J. Agric. Res.*, **32**, 833, 1926.
- MEYER (J. H.), GRUNERT (R. R.), ZEPPLIN (M. T.), GRUMMER (R. H.), BOHSTEDT (G.) et PHILLIPS (P. H.). — *Amer. J. Physiol.*, **162**, 182, 1950.
- MEYER (J. H.) et WEIR (W. C.). — *J. Anim. Sci.*, **13**, 443, 1954.
- MOHN (M. P.). — *Anatom. Record.* **125**, 595, 1956.
- MOHN (M. P.). — in *Biology of hair growth* p. 335, Ed. MONTAGNA (W.) et ELLIS (R. A.), New-York, 1958.
- MORICE (E.), et CHARTIER (F.). — *Méthode statistique* (2^e partie) Paris, Imprimerie nationale, 1954.

- MUKHERJEE (D. P.) et BHATTACHARYA (P.). — *Indian J. Vet. Sci.*, **22**, 191, 1952.
MULLICK (D. N.), MURTY (V. N.) et KEHAR (N. D.). — *J. Anim. Sci.*, **12**, 951, 1953.
NEHER (R.) et WETTSTEIN (A.). — *Acta endocrinologica*, **18**, 386, 1955.
NELSON (A. B.), MAC VICAR (R. W.), VAN ARSDELL (W. J.) et DARLOW (A. E.). — *J. Anim. Sci.*, **10**, 1058, 1951.
NICOLAYSEN (R.), EEG-LARSEN (H.) et MALM (D. J.). — *Physiol. Revs.*, **33**, 424, 1953.
ORTAVANT (R.) et THIBAUT (C.). — *C. R. Soc. Biol.*, **150**, 358, 1956.
OTTO (J. S.). — *Onderstepoort J. Vet. Sci.*, **10**, 281, 1938.
OWEN (E. C.). — *Biochem. J.*, **43**, 243, 1948.
OYAERT (W.). — *Ann. Med. Vet.*, **97**, 122, 1953.
PALMER (L. S.), CUNNINGHAM (W. S.) et ECKLES (C. H.). — *Journ. Dairy. Sci.*, **13**, 174, 1929.
PALMER (L. S.), GULLICKSON (T. W.), BOYD (W. L.), FITCH (C. P.) et NELSON (J. W.). — *J. Dairy. Sci.*, **24**, 199, 1941.
PAYNE (M. G.), CLARK (A. G.), KINGMAN (H. E.) et STANSBURY (W. M.). — *J. Agric. Res.*, **72**, 357, 1946.
PEARSON (P. B.), GRAY (J. A.) et REISER (R.). — *J. Anim. Sci.*, **8**, 52, 1949.
PISTOR (W. J.), NESBITT (J. C.) et CARDON (B. P.). — *Proc. Ann. Vet. Med. Assoc.*, 87th Ann. Meet. p. 154, 1950.
RAUSCHKOLB (E. W.) et FARRELL (G. L.). — *Endocrinology*, **59**, 526, 1956.
RAUSCHKOLB (E. W.), YATSU (F. M.) et FARRELL (G. L.). — *Proc. 39th Meeting Endocrinol. Soc.* p. 32, 1957.
REINBERG (A.) et STOLKOWSKI (J.). — *Ann. Endocrinol.*, **18**, 137, 1957.
RIGGS (J. K.), COLBY (R. W.) et SMITH (H. A.). — *J. Anim. Sci.*, **10**, 1060, 1951.
RIGGS (J. K.), COLBY (R. W.) et SELLS (L. V.). — *J. Anim. Sci.*, **12**, 379, 1953.
ROBINSON (C. S.), HUFFMAN (C. F.) et BURT (K. L.). — *J. Biol. Chem.*, **73**, 477, 1927.
RUSHOFF (L. L.). — *J. Anim. Sci.*, **9**, 666, 1950.
RUSOFF (L. L.) et PIERCY (P. L.). — *J. Dairy Sci.*, **29**, 526, 1946.
SAARINEN (P.). — *Journ. of the Scientific Agricultural Society of Finland*, **22**, 122, 1950.
SALGUES (R.). — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **20**, 1224, 1938.
SEWALL WRIGHT, — The interpretation of multivariate systems, Statistics and mathematics in biology, Iowa State College Press.
SIMPSON (B. W.). — *Biochem. J.*, **41**, XLV, 1947.
SJOSTRAND (T.). — *Physiol. Rev.*, **33**, 202, 1953.
SMITH (V. R.) et STOTT (G. H.). — *J. Dairy Sci.*, **39**, 935, 1956.
SMITH (V. R.), STOTT (G. H.) et WALKER (C. W.). — *J. Anim. Sci.*, **16**, 313, 1957.
SORENSEN (P. H.). — 302 beretning fra forsogslaboratoriet, 1958.
SPEALMAN (C. R.), NEWTON (M.) et POST (R. L.). — *Amer. J. Physiol.*, **150**, 628, 1947.
SQUIBB (R. L.), GUZMAN (M. A.) et SCRIMSHAW (N. S.). — *J. Nutrition*, **52**, 155, 1954.
STEDMAN (L. T.), ARIEL (I.) et WARREN (S. L.). — *New England J. Med.*, **224**, 471, 1941.
STOTT (G. H.) et SMITH (V. L.). — *J. Dairy Sci.*, **40**, 893 et 897, 1957.
STRAND (R.), ANDERSON (W.) et ALLCROFT (W. R.). — *Biochem. J.*, **28**, 642, 1934.
TAYLOR (S.). — *J. Clin. Endocrinol.*, **14**, 1412, 1954.
THAUER (R.). — *Ergebn. Physiol.*, **41**, 607, cité par BONVALLET et DELL, 1949, 1939.
THEILER (A.), GREEN (H. H.) et DU TOIT (P. J.). — *J. Agric. Sci.*, **17**, 291, 1927.

- THOMPSON (J.). — *Endocrinology*, **17**, 537, 1933.
- TOUSSAINT (C.), WOLTER (R.), et SIBILLE (P.). — *C. R. Soc. Biol.*, **147**, 1637, 1953.
- TREILLE (G.). — 1888, 6^e Congrès International d'Hygiène, Vienne. Cité par DELL et BONVALLET, 1949.
- UNGAR (F.), ROSENFELD (G.), ROSENBERG (E.) et DORFMAN (R. I.). — *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, **87**, 653, 1954.
- VAN DER HORST (C. J. G.) et HENDRIKS (H. J.). — *Tijdschr. v. Diergeneesk.*, **83**, 1162, 1958.
- VAN DER MEULEN (J. B.). — *Rpt. 7 th World's poultry Congress*. Cité par YEATES, 1954, 1939.
- WALSK (R. J.), KALDOR (I.) et COTTER (H.). — *Austr. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, **34**, 59, 1956.
- WATKINS (W. E.) et KNOX (J. H.). — *J. Agric. Sci.*, **7**, 263, 1948.
- WEBB (R. J.), LEWIS (J. M.), KAMMLADE (W. C.), FUELLEMAN (R. F.) et HAMILTON (T. S.). — *J. Anim. Sci.*, **7**, 159, 1948.
- WESTERLUND (A.). — *Lantbrukshögsk. Ann.*, **4**, 55, 1937.
- WETTSTEIN (A.), KAHNT (F. W.) et NEHER (R.). — CIBA Found. Coll. on Endocrinol., **8**, 1955.
- WOODRUFF (L. M.). — *Anesthesiology*, **2**, 410, 1941.
- YEATES (N. T. M.). — *J. Agric. Sci.*, **39**, 1, 1949.
- YEATES (N. T. M.). — « Progress in the physiology of farm animals » Hammond, Jr. Ed. Butterworth Scientific Publication, London, 1954.
-