

Influence d'une subcarence en phosphore et d'un excès de calcium alimentaire sur la phosphatémie et les teneurs en phosphore et calcium des contenus de rumen du mouton

Michelle DURAND, Bénédicte BERTIER, Geneviève HANNEQUART,
L. GUÉGUEN

*Station de Recherches de Nutrition, I.N.R.A.,
78350 Jouy-en-Josas, France.*

Summary. *Effect of diets low in phosphorus and high in calcium on plasma inorganic and ruminal phosphorus and calcium concentrations.*

Four semi-purified diets with different calcium (Ca) and phosphorus (P) contents were given to adult sheep at a level of 1 kg daily plus 100 g of straw. The phosphorus was supplied as dicalcium phosphate, almost insoluble in rumen fluid. In the preliminary period, all the animals (16) were fed the test diet (NCa-NP) containing 8.4 g of Ca and 3.3 g of P.

In the experimental period (table 3) two trials were carried out. In trial 1, two groups of 5 sheep each were given for 5 weeks a diet low in P (1 g/kg) and either low (2 g/kg) (diet BCa-BP) or high (10 g/kg) (diet HtCa-BP) in calcium. In trial 2, which lasted for 19 weeks, the HtCa-BP diet was compared to a high Ca (10 g/kg) normal P (3.3 g/kg) diet (diet HtCa-NP); two groups of 2 sheep each were fed both these diets every 3 hours, and one group (HtCa-BP) was fed twice daily.

The concentration of ultrafilterable inorganic Ca (CaiU) in the rumen contents was related to the Ca level of the diet (tables 4, 5). However, individual variations were high and CaiU concentrations were negatively correlated to rumen pH (fig. 7).

When diets adequate in P were fed, ruminal concentrations of ultrafilterable P (PiU) were rather high (400-490 mg/l), showing the importance of endogenous P supply in the rumen. With an adequate P supply, a high Ca intake had no effect on either plasma or ruminal PiU.

When low P diets were fed, there was a steady decrease in plasma Pi from 6 to 3.5 mg P/100 ml and in ruminal PiU from 500 mg/l to values lower than 300 mg/l up to 5-6 experimental weeks. These decreases were greatest with high Ca intake (HtCa-BP diet) (figs. 2, 3), some animals being markedly affected (ruminal PiU values lower than 20 mg/l). However, the decreases in ruminal PiU were less pronounced with frequent feeding than with feeding twice a day.

Considering all the results obtained, ruminal PiU concentrations were positively correlated with plasma Pi concentrations ($r = + 0.77$; $n = 75$) (fig. 8).

Therefore, high Ca intake can enhance the response to P deficiency and reduce further plasma Pi concentrations and levels of available P in the rumen. Microbial P requirements may not be satisfied in such conditions, which would reduce ruminal microbial digestion in some animals.

Introduction.

Chez le Ruminant, la sécrétion de phosphore salivaire représente la voie la plus importante de l'excrétion du phosphore endogène. La voie urinaire est généralement secondaire, notamment avec les régimes riches en parois végétales. Les phosphates salivaires assurent dans le rumen un apport de phosphore sous une forme disponible pour couvrir les besoins des microorganismes et contribuent à maintenir les conditions physicochimiques du milieu dans une zone favorable à la digestion microbienne. Pour l'animal-hôte, la sécrétion salivaire est un des facteurs de la régulation de l'homéostasie du phosphore. En effet, Tomas, Moir et Somers (1967) ont montré qu'il existe chez le mouton une corrélation positive entre les concentrations salivaires et sériques de phosphore (P), relation confirmée par Scott et Beastall (1978). La phosphatémie étant en relation avec le niveau d'ingestion du phosphore, une subcarence en phosphore alimentaire pourrait ainsi réduire les teneurs en P inorganique du liquide du rumen.

Certains aliments que les ruminants sont susceptibles d'utiliser, comme les sous-produits agro-industriels (pulpes, mélasses de canne) ou certains fourrages de légumineuses, sont pauvres en phosphore mais souvent excédentaires en calcium (Ca). Or, un excès de Ca alimentaire a une influence sur la sécrétion des hormones régulant le métabolisme phosphocalcique. En élevant la calcémie, il entraîne une inhibition de la sécrétion de parathormone (PTH) et une stimulation de celle de calcitonine, ce qui a pour effet de diminuer la résorption osseuse. D'après certains résultats obtenus chez l'agneau (Field, Suttle et Nisbet, 1975), il pourrait en résulter une baisse de la phosphatémie. Par ailleurs, un effet stimulant de la PTH sur la sécrétion de phosphore salivaire a été montré par Tomas (1974) et Clark *et al.* (1975) chez le mouton. L'inhibition de la sécrétion de cette hormone par une calcémie élevée pourrait donc réduire le phosphore salivaire ; cependant, cet effet stimulant de la PTH n'a pas été retrouvé par Scott et Beastall (1978) chez cette espèce.

Nous avons recherché dans le présent travail quels étaient les effets d'un apport élevé de calcium alimentaire sur l'évolution de la phosphatémie et des teneurs en phosphore et calcium des contenus de rumen de moutons consommant un aliment semi-purifié, soit normal, soit subcarencé en phosphore.

Par ailleurs, certains aspects de la physiologie du rumen (taux de renouvellement de la phase liquide, intensité de la protéosynthèse microbienne, ...) seraient modifiés lorsque la fréquence de distribution des repas est augmentée (Hungate, Reichl et Prins, 1971 ; Beaumatin, 1981). Nous avons recherché si cette fréquence de distribution des repas pouvait aussi avoir des répercussions sur les teneurs en phosphore des contenus de rumen.

Matériel et méthodes.

1. *Animaux et régimes alimentaires.* — Les deux essais réalisés ont porté au total sur 16 moutons mâles adultes âgés de 2 à 4 ans, de race Ile-de-France,

pesant environ 65 kg en début d'expérience et munis d'une fistule permanente du rumen.

Quatre aliments purifiés (tabl. 1) différant par leurs taux de calcium et de phosphore ont été expérimentés. Les aliments étaient présentés sous forme de granulés de 5 mm. La composition phosphocalcique est indiquée dans le tableau 2 ; le phosphore et le calcium apportés par le complément minéral étaient sous forme de phosphate bicalcique pratiquement insoluble au niveau du rumen et de carbonate de calcium.

Les éléments minéraux autres que P et Ca étaient apportés en même quantité pour tous les aliments :

— g/kg d'aliment brut : chlorure de potassium 5,0, sulfate de sodium 6,0, sulfate de potassium 2,3, carbonate de potassium 2,7, sulfate de magnésie 4,5, hydrate de magnésie 3,0 ;

— mg/kg d'aliment brut : sulfate de fer 730, sulfate de manganèse 380, sulfate de zinc 250, sulfate de cuivre 22, sulfate de cobalt 4, iodure de potassium 1,0, sélénite de sodium 0,4, molybdate d'ammonium 0,3.

Les vitamines apportées sont, en g/100 kg d'aliment : vit. A (500 000 UI/g) 3,0, vit. D₃ (100 000 UI/g) 0,5, vit. E (250 UI/g) 2,0, chlorhydrate de thiamine 1,2.

Chaque animal a reçu par jour 1 kg d'aliment purifié additionné de 100 g de paille hachée (3 g Ca et 0,5 g P par kg MS) et de l'eau à volonté.

TABLEAU 1
Composition des aliments (en g/kg d'aliment brut)

	Normal Ca-normal P (NCa-NP)	Bas Ca-bas P (BCa-BP)	Haut Ca-bas P (HtCa-BP)	Haut-Ca-normal P (HtCa-NP)
Cellulose	260	278	258	258
Amidon	370	380	380	377
Cérélose	249	240	240	240
Urée	40	40	40	40
Huile	30	30	30	30
Chlorure de choline	1	1	1	1
Complément minéral et vitaminé ...	50	31	51	54

TABLEAU 2
Teneurs en calcium et phosphore des aliments (g/kg d'aliment brut)

	NCa-NP	BCa-BP	HtCa-BP	HtCa-NP
Ca	8,4	2,0	10,0	10,0
P	3,3	1,0	1,0	3,3
Rapport Ca/P	2,5	2	10	3

2. *Dispositif expérimental.* — Pendant une période préliminaire (période témoin) tous les animaux ont reçu le régime témoin : normal Ca-normal P (Nca-NP) ; dans une seconde période (période expérimentale), deux essais ont été réalisés (tabl. 3) au cours desquels on a étudié l'influence d'un excès de Ca associé à une subcarence en P : régime haut Ca-bas P (HtCa-BP) ; en outre, nous avons étudié par rapport à ce dernier régime, d'une part (essai 1) l'influence d'un faible taux de Ca associé à la subcarence en P : régime bas Ca-bas P (BCa-BP), d'autre part (essai 2) l'influence d'un taux élevé de Ca associé à un taux normal de P : régime haut Ca-normal P (HtCa-NP). De plus, dans l'essai 2, l'effet de la fréquence de distribution des repas a été recherchée : deux animaux de chaque régime ont reçu toutes les 3 heures 125 g d'aliment purifié et 12,5 g de paille à l'aide du distributeur décrit par Beaumatin (1981).

Les échantillons de sang et de contenu de rumen sont prélevés à différents intervalles de temps au cours de l'expérience. La période expérimentale était dans l'essai 1 de 5 semaines pour les prélèvements de contenu de rumen et de 6 semaines pour ceux de sang. Dans l'essai 2, nous avons poursuivi l'expérience durant 19 semaines pour voir si un phénomène d'adaptation pouvait se manifester. La prise de sang, réalisée 7 h après le repas du matin pour les animaux à 2 repas par jour et 30 min avant le repas pour ceux recevant l'alimentation fractionnée, est effectuée au niveau de la veine jugulaire (tubes à prélèvement sous vide « vacutainer », héparinés).

Le contenu total de rumen est prélevé au niveau de la fistule par succion, grâce à une pompe à vide, soit 3 h après le repas du matin pour les animaux à 2 repas par jour et entre 2 repas pour ceux à alimentation fractionnée. Ces horaires ont été choisis après une étude cinétique montrant, qu'au niveau du rumen, les concentrations en phosphore inorganique ultrafiltrable (PiU), élevées chez l'animal à jeûn recevant 2 repas par jour, décroissent pendant 2 h après le repas et se stabilisent ensuite jusqu'au repas du soir.

3. *Traitement des échantillons et méthodes de dosage.* — Les échantillons de sang sont immédiatement centrifugés à froid ; après déprotéinisation par l'acide trichloracétique (10 p. 100) du plasma obtenu, le phosphore inorganique (Pi) est dosé par la méthode colorimétrique de Chen, Toribara et Warner (1956).

TABLEAU 3
Dispositif expérimental

	Période témoin	Période expérimentale			
		Essai 1		Essai 2	
Régimes	Nca-NP	BCa-BP	HtCa-PB	HtCa-NP	HtCa-BP
Nombre d'animaux	12 + 4*	5	5	2*	2 + 2*
Durée (semaines)	8	5-6		19	

* = Alimentation fractionnée 8 repas/24 h.

Sur les contenus de rumen sont déterminés d'une part, les teneurs en Ca et en P totaux, d'autre part, les teneurs en Ca et P inorganiques, ultrafiltrables (CaiU et PiU). Les échantillons subissent les traitements indiqués sur la figure 1. L'ultrafiltration du surnageant de centrifugation permet de doser avec précision le phosphore inorganique soluble. Ce dernier correspond au phosphore salivaire. Nous considérons que P et Ca ultrafiltrables représentent la forme directement assimilable par les microorganismes. Le calcium total et le calcium ultrafiltrable sont dosés par photométrie de flamme (photomètre Eppendorf). Le phosphore total est dosé par colorimétrie au phosphovanadomolybdate d'ammonium (réaction de Misson) et le phosphore ultrafiltrable par colorimétrie selon la méthode Bartlett (1959) (réactif de Fiske-Subbarow).

Résultats.

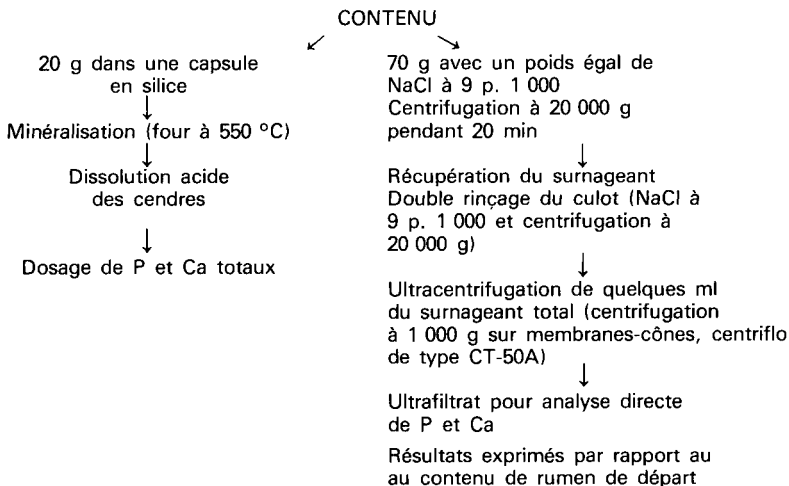
D'une façon générale, les aliments, quel que soit le taux de P, ont été bien consommés par les animaux ; apparemment la subcarence en P n'a pas entraîné de baisse de consommation.

1. Essai n° 1.

Les évolutions de la phosphatémie et de la teneur en P ultrafiltrable du contenu de rumen sont indiquées sur les figures 2 et 3 et les concentrations moyennes en P plasmatique et en P et Ca du contenu de rumen après 4 semaines d'adaptation sont rapportées dans le tableau 4.

La subcarence en P entraîne une baisse significative des valeurs de la phosphatémie après 4 semaines d'adaptation. Les valeurs restent alors stables pour le

FIG. 1. — *Traitement du contenu de rumen.*



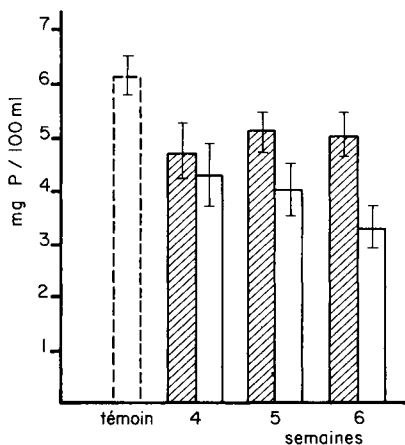


FIG. 2.

FIG. 2. — Essai 1 : Influence des régimes sur les teneurs en Pi plasmatique (n = 5).
Régimes : témoin, BCa-BP, HtCa-BP.

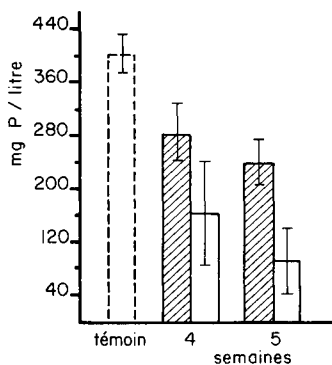


FIG. 3.

FIG. 3. — Essai 1 : Influence des régimes sur les teneurs en Pi ultrafiltrable du contenu de rumen (n = 5). Régimes : témoin, BCa-BP, HtCa-BP.

TABLEAU 4

Essai n° 1 : Phosphatémie et teneurs en P et Ca du contenu de rumen
(moyenne des résultats obtenus après 4 semaines d'adaptation aux régimes m ± sm, n = 10)

	Période témoin NCa-BP	Période expérimentale	
		BCa-BP	HtCa-BP
Sang :			
mg Pi/100 ml de plasma	6,1 ± 0,2 ^{a*}	4,9 ± 0,3 ^d	3,9 ± 0,3 ^f
Rumen :			
P total (mg/l)	1 562 ± 109 ^a	857 ± 44 ^d	801 ± 67 ^d
Ca total (mg/l)	1 885 ± 129 ^a	377 ± 36 ^d	1 881 ± 113 ^a
PiU (mg/l)	402 ± 28 ^a	264 ± 27 ^b	129 ± 44 ^c
CaIU (mg/l)	299 ± 27 ^a	130 ± 65 ^d	557 ± 116 ^b
PiU/P total (p. 100)	26 ± 1 ^{ac}	31 ± 2 ^a	14 ± 4 ^c
CaIU/Ca total (p. 100)	16 ± 2 ^a	34 ± 4 ^b	29 ± 6 ^{ab}

* Les chiffres affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents.
Signification des différences : ab, bc : P < 0,05 ; ac, df : P < 0,01 ; ad, af : P < 0,001.

régime BCa-BP mais elles continuent à s'abaisser au cours des 2 semaines suivantes pour le régime ayant un taux élevé de Ca (HtCa-BP, fig. 2). En moyenne après 4 semaines (tabl. 4) la phosphatémie est significativement plus faible pour le régime HtCa-BP que pour le régime BCa-BP.

Les teneurs en Ca et en P total du contenu de rumen (tabl. 4) s'abaissent

parallèlement à celles de l'aliment. Par contre, l'élévation de la teneur en Ca de ce dernier (HtCa-BP) n'accroît pas la teneur en Ca total du contenu de rumen.

Par rapport au témoin, la subcarence en P entraîne une chute des teneurs en P ultrafiltrable, chute déjà importante à la 4^e semaine mais qui se poursuit la semaine suivante notamment avec le régime HtCa-BP (fig. 3). En moyenne (tabl. 4) c'est avec ce dernier régime que les valeurs de PiU sont significativement les plus basses. Dans les régimes témoin et BCa-BP, pour lesquels le rapport Ca/P reste voisin de 2, la fraction de P ruminal à l'état soluble est sensiblement identique (environ 28 p. 100) ; par contre, un excès de Ca (régime HtCa-BP) réduit cette fraction de moitié (effet significatif, tabl. 4).

Les teneurs en Ca ultrafiltrable du contenu de rumen évoluent comme les teneurs en Ca total de l'aliment (tabl. 4). La proportion du Ca total du rumen retrouvée sous une forme soluble varie, mais c'est avec le régime BCa-BP que cette fraction est la plus élevée (tabl. 4).

2. Essai n° 2.

Phosphatémie. — La figure 4 donne l'évolution de la phosphatémie (moyenne des 2 animaux de chaque groupe) au cours des 19 semaines d'expérimentation.

Un excès de Ca quand le régime est normalement pourvu en P n'entraîne pas de variation significative. Par contre, la subcarence en P du régime se traduit dès la deuxième semaine par une chute significative ($P < 0,001$) de la phosphatémie ($4,0 \pm 0,1$ contre $6,1 \pm 0,2$ mg/100 ml pour les valeurs témoins). La phosphatémie continue à s'abaisser jusqu'à la 5^e semaine puis se stabilise plus ou moins selon les animaux par la suite. Pour le lot recevant 2 repas par jour la valeur la plus basse est atteinte à la 13^e semaine. Pour 3 animaux sur 4 après la 13^e semaine on assiste à un phénomène d'adaptation : les valeurs tendent

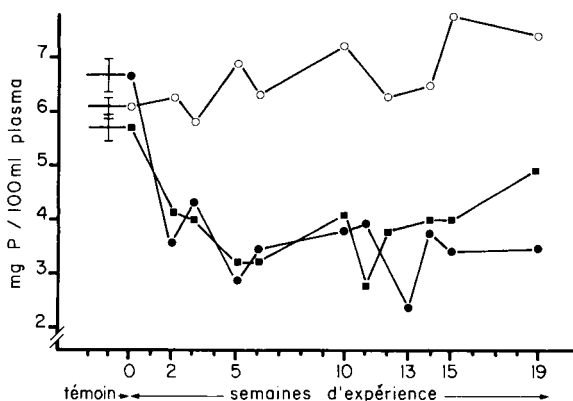


FIG. 4. — Essai 2 : Evolution de la phosphatémie ($n = 2$).
Régimes : ○ HtCa-NP, ■ HtCa-BP, ● HtCa-BP.
Nombre de repas/24 h : ○ 8, ■ 8, ● 2.

à s'élever. Il semble que cette adaptation soit plus marquée pour le lot recevant 8 repas pas jour, mais les différences entre les 2 lots (8 repas et 2 repas/24 h) ne sont pas significatives.

Teneurs des contenus de rumen. — Le tableau 5 indique les résultats moyens obtenus pour le régime témoin et pour les semaines 5 et 6 des régimes expérimentaux. La figure 5 montre, pour chaque lot, l'évolution des variations du P ultrafiltrable par rapport aux valeurs témoins.

Le régime riche en Ca lorsqu'il est normalement pourvu en P (HtCa-NP), n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en P total ou ultrafiltrable alors que les teneurs en Ca ont tendance à croître. On relève cependant des fluctuations importantes de PiU au cours du temps (fig. 5), les valeurs étant toujours supérieures à celles du témoin. Par contre, l'excès de Ca associé à la subcarence en P entraîne une baisse significative des teneurs en P total et ultrafiltrable du contenu de rumen (tabl. 5, fig. 5). La chute du PiU semble plus importante chez les animaux recevant 2 repas par jour : effet non significatif aux semaines 5 et 6 mais significatif ($P < 0,01$) aux semaines 12 et 13 pour lesquelles les teneurs en PiU sont respectivement de 47 ± 23 et 271 ± 54 mg/l pour les animaux recevant 2 ou 8 repas par jour.

La proportion de PiU par rapport au P total ne s'abaisse significativement qu'avec le régime HtCa-BP, distribué 2 fois par jour ; dans ce dernier cas, seulement 13 p. 100 du P se retrouve sous forme soluble.

Nous remarquons dans le cas du régime HtCa-BP une évolution parallèle du PiU dans le rumen et de la phosphatémie comme le montre la figure 6 sur laquelle sont rapportées les valeurs individuelles.

TABLEAU 5

Essai n° 2 : Teneurs en P et Ca du contenu de rumen
(moyenne des prélèvements effectués pendant les semaines 5 et 6. m \pm sm)

	Période témoin NtCa-NP (n = 12)	Période expérimentale		
		HtCa-NP 8 repas (n = 4)	HtCa-BP	
			8 repas (n = 4)	2 repas (n = 4)
P total (mg/l)	1 422 \pm 52 ^{a*}	1 313 \pm 110 ^a	1 010 \pm 41 ^d	750 \pm 105 ^d
Ca total (mg/l)	1 294 \pm 55 ^a	1 574 \pm 362 ^{abc}	1 904 \pm 116 ^c	1 610 \pm 117 ^b
PiU (mg/l)	491 \pm 29 ^a	354 \pm 34 ^a	251 \pm 45 ^c	117 \pm 57 ^c
CaiU (mg/l)	232 \pm 17 ^a	473 \pm 115 ^{ab}	588 \pm 125 ^b	620 \pm 97 ^b
PiU/P total (p. 100)	35 \pm 2 ^a	28 \pm 4 ^{ac}	25 \pm 5 ^{ac}	13 \pm 6 ^c
CaiU/Ca total (p. 100)	18 \pm 1 ^a	31 \pm 5 ^b	31 \pm 5 ^b	38 \pm 5 ^b

* Les chiffres affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents.
Signification des différences : ab, bc : $P < 0,05$; ac : $P < 0,01$; ad : $P < 0,001$.

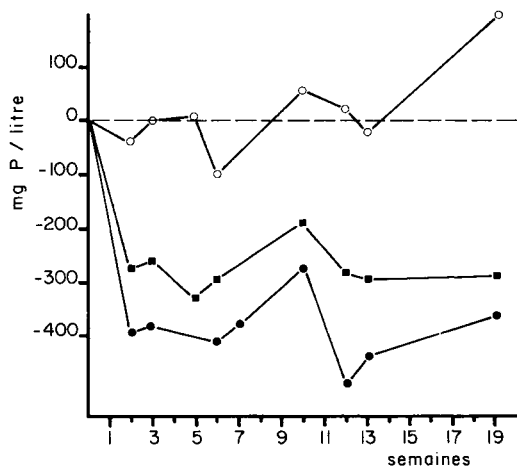


FIG. 5. — Essai 2 : Evolution du Pi ultrafiltrable du contenu de rumen par rapport aux valeurs du régime témoin ($P_i \text{ exp.} - P_i \text{ témoin}$, $n = 2$).

Régimes : ○ HtCa-NP, ■ HtCa-BP, ● HtCa-BP.

Nombre de repas/24 h : ○ 8, ■ 8, ● 2.

Les teneurs en Ca total et en Ca ultrafiltrable s'élèvent significativement avec le régime HtCa-BP par rapport à celles du témoin. C'est pour le lot nourri 2 fois par jour que la proportion de Ca à l'état soluble est la plus élevée (tabl. 5). L'évolution des teneurs en CaiU avec le régime HtCa-BP est généralement inverse de celle des teneurs en PiU, excepté pour un animal recevant 2 repas par jour pour lequel les évolutions sont parallèles (fig. 6).

Discussion.

Influence des régimes sur le calcium ultrafiltrable du contenu de rumen.

Les valeurs moyennes de CaiU obtenues varient en fonction de la teneur en calcium des régimes, ce qui est en accord avec les résultats de Nel et Moir (1974). Avec les régimes faibles ou normalement pourvus en Ca qui apportent cependant deux fois plus de Ca que de P les concentrations moyennes en CaiU sont beaucoup plus faibles que celles de PiU. En effet, contrairement au phosphore le retour endogène de calcium dans le rumen est négligeable comme l'ont montré Nel et Moir (1974). Ainsi, le calcium ultrafiltrable provient essentiellement du Ca alimentaire qui a été solubilisé. La proportion solubilisée est relativement faible (16 à 18 p. 100 du Ca total pour le régime témoin). Avec des régimes naturels, et plus particulièrement avec le foin de luzerne, plusieurs auteurs (cités par Durand et Kawashima, 1980) signalent que le calcium est peu soluble dans le rumen ; il semble donc que ce soit aussi le cas avec des régimes purifiés, complémentés par des sels minéraux.

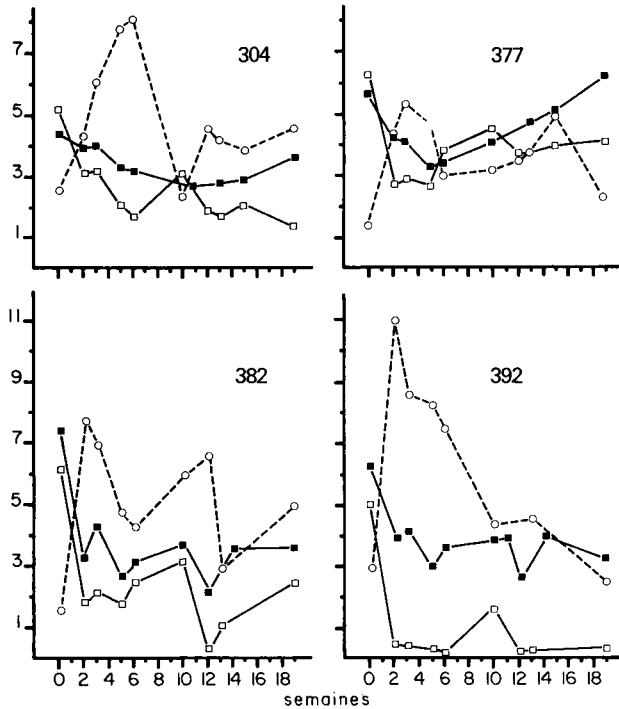


FIG. 6. — Essai 2 : Evolutions parallèles de la phosphatémie, du Pi et du Cai ultrafiltrables du contenu de rumen, chez les moutons recevant le régime HtCa-BP en 8 repas (304-377) ou en 2 repas (382-392) par 24 h.

Phosphatémie : ■—■ mg/100 ml de plasma.
 PiU : □—□ mg/l (× 100).
 CaiU : ○—○ mg/l (× 100).

Malgré les faibles valeurs de CaiU observées avec le régime pauvre en calcium (130 ± 65 mg/l), les besoins des microorganismes en cet élément, qui seraient compris entre 10 et 40 mg de Ca soluble/l (Durand et Kawashima, 1980) ont été en général couverts.

A l'intérieur de chaque régime, on observe des variations très importantes de CaiU (valeurs extrêmes pour le régime HtCa-BP : 175 et 1 160 mg CaiU/l), variations qui semblent dues, pour une grande part, à des fluctuations du pH. Nous avons effectivement observé, pour chaque régime, une corrélation négative, hautement significative entre le CaiU et le pH du contenu de rumen (fig. 7) ; cependant la valeur du coefficient de corrélation est moins élevée pour le régime HtCa-BP que pour les autres régimes, différence qui peut provenir des interactions entre phosphore et calcium. Les variations du pH peuvent s'expliquer, bien que tous les prélèvements de contenu de rumen aient été effectués à la même heure, par des vitesses de consommation différentes. Cette relation entre le pH et le taux de calcium soluble dans le rumen a aussi été signalée par d'autres auteurs : Yano, Kawashima et Kojima (1978), Terashima *et al.* (1976) qui

ont fait varier le pH, soit par traitement des céréales, soit par addition de divers types d'acide dans le rumen ; cette relation existe également lorsque l'on considère le calcium ultrafiltrable des contenus digestifs, de la caillette à la fin de l'intestin grêle (Storry, 1961).

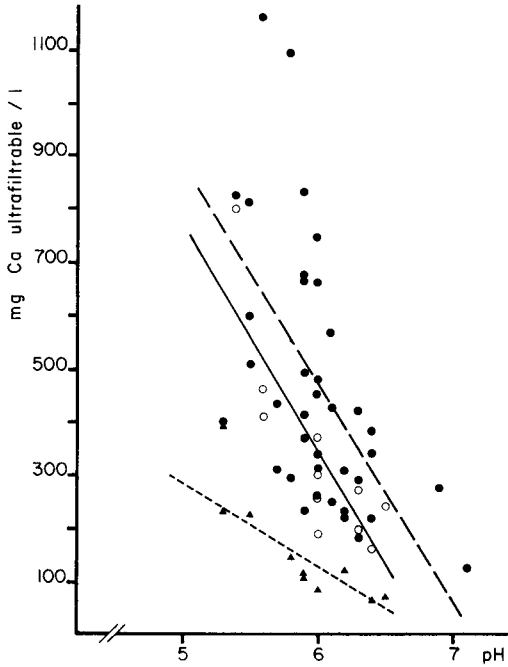


FIG. 7. — Relation entre Ca_i ultrafiltrable et pH au niveau du rumen.

HtCa-BP	$r = -0,6$	$n = 38$	●---●
HtCa-NP	$r = -0,86$	$n = 12$	○---○
BCa-BP	$r = -0,88$	$n = 9$	▲---▲

Influence des régimes sur les teneurs en phosphore des liquides physiologiques.

1. *Régimes à teneur normale en phosphore.* — Avec le régime témoin (NCa-NP) dans lequel tout le phosphore alimentaire est apporté sous une forme insoluble, on observe des valeurs de PiU relativement élevées et comparables à celles obtenues par Nel et Moir (1974), avec un apport de phosphates solubles. Ces résultats, en accord avec ceux obtenus au laboratoire par Beaumatin (1981), confirment l'importance du recyclage du phosphore par la salive. Cependant, les variations dans le temps et entre animaux sont importantes : les valeurs extrêmes sont de 290 et 640 mg PiU/l, le coefficient de variation (CV) est de 23 p. 100 ($n = 22$). Ces différences peuvent provenir de variations dans le flux des contenus digestifs (volume et taux de dilution du liquide de rumen). De plus, chez certains animaux une partie du P endogène serait excrétée au niveau urinaire aux dépens de la sécrétion salivaire (Scott, 1975).

Pour ce même régime, les variations de la phosphatémie sont plus faibles (CV = 12 p. 100, n = 13) avec cependant des valeurs extrêmes très différentes (4,4 et 7,2 mg Pi/100 ml plasma). Ces variations sont connues ; elles ont récemment été discutées par Scott et McLean (1981) et par Field (1981) et correspondraient à des différences individuelles dans les capacités d'absorption.

Lorsqu'on supplémente en calcium le régime témoin (essai n° 2), la phosphatémie n'est pas modifiée, ce qui est en accord avec les résultats de Wise, Ordoveza et Barrick (1963) et ceux de Young *et al.* (1966) ; la teneur en phosphore ultrafiltrable du contenu de rumen ne variant pas non plus, on peut donc conclure qu'un excès de calcium, lorsque le régime est normalement pourvu en phosphore, ne réduit pas la sécrétion de P salivaire.

2. *Régimes à teneurs basses en phosphore.* — La subcarence en phosphore se traduit, quels que soient le taux de calcium de l'aliment et le nombre de repas par 24 h, par une chute significative de la phosphatémie et du phosphore ultrafiltrable du rumen. Les résultats du deuxième essai, qui portent sur une durée de 19 semaines, montrent que les valeurs minimales de la phosphatémie sont atteintes à la 5^e semaine et se stabilisent plus ou moins ensuite (fig. 3). Quant au PiU du contenu de rumen, une période d'adaptation identique est nécessaire mais les variations entre animaux sont plus importantes : 3 animaux sur les 14 qui ont reçu un des régimes bas phosphore ont des valeurs de PiU très faibles (8 à 15 mg/l) tandis que les autres ont tous des valeurs supérieures à 100 mg PiU/l. Des différences de comportement individuel sont aussi constatées par Bonilla (1976) qui, après un an de déplétion en phosphore, obtient pour un mouton des concentrations en phosphore soluble extrêmement faibles (1 à 5 mg P/l) et pour un autre des valeurs presque normales (100 à 150 mg P/l). Les variations individuelles proviendraient de différences dans la faculté d'adaptation des sécrétions endocriniennes. Selon Care, Barlet et Abdel-Hafeez (1980), il y aurait, pour certains animaux, une adaptation qui favoriserait l'absorption du P par une synthèse accrue de 1,25 di(OH)D₃ au niveau rénal (stimulation de la 1-hydroxylase rénale par la carence en P).

La fréquence de distribution des repas semble cependant réduire l'intensité de la réponse au niveau du rumen à la subcarence en phosphore : les valeurs de PiU s'abaissent moins lorsque les animaux reçoivent une alimentation fractionnée. Cet effet peut être dû soit à une salivation accrue, soit à une différence de volume du rumen. En effet, le volume du rumen serait plus faible et le turnover de la phase liquide plus élevé chez les animaux recevant une alimentation fractionnée (Beaumat, 1981).

Enfin, les réponses des animaux à un régime pauvre en phosphore sont amplifiées par un excès de calcium alimentaire. En ce qui concerne la phosphatémie, nos résultats confirment ceux de Young *et al.* (1966) et ceux de Nel et Moir (1974) ; pour ces derniers, lorsque le rapport Ca/P s'élève de 1 à 11 et que le régime reste pauvre en phosphore (0,6 g P/j), la phosphatémie passe de 5,8 à 4,2 mg Pi/100 ml de plasma. Un phénomène sensiblement identique a été observé par Field, Suttle et Nisbet (1975) dans une expérience sur agneaux. Quant à la teneur en phosphore ultrafiltrable du contenu de rumen, Nel et Moir (1974)

ont, comme nous, observé un effet dépressif de l'excès de calcium, le phosphore soluble chutant de 460 à 280 mg P/l avec un régime riche en Ca, les aliments étant toujours subcarencés en phosphore.

Cet effet dépressif de l'excès de Ca est sans doute dû en partie à l'abaissement de la phosphatémie mais un effet direct de Ca au niveau du rumen n'est pas à exclure, la modification du produit de solubilité pouvant conduire à une précipitation de phosphore salivaire sous la forme de phosphates calciques insolubles. Effectivement, d'après tous nos résultats obtenus avec le régime HtCa-BP, nous observons une relation inverse entre PiU et CaiU, relation qui est la suivante : $PiU = 4,02 - 0,37 CaiU$ (mg/l) ($r = -0,64$, $n = 45$, $P < 0,01$).

3. *Relation entre la phosphatémie et le phosphore soluble du contenu de rumen.* — Sur l'ensemble de nos résultats nous obtenons une corrélation positive, hautement significative, entre le phosphore inorganique du plasma et le phosphore ultrafiltrable du rumen (fig. 8). Tomas, Moir et Somers (1967) trouvent également un coefficient de corrélation élevé ($r = 0,75$), voisin du nôtre ($r = 0,77$). Par contre, Nel et Moir (1974) et Bonilla (1976), observant la même relation, obtiennent des coefficients beaucoup plus faibles ; ceci peut s'expliquer par le fait que, dans notre expérience et dans celle de Tomas, Moir et Somers (1967), le phosphore alimentaire est pratiquement insoluble et que, dans ces conditions, la mesure de P soluble porte essentiellement sur P salivaire. Cette relation entre phosphatémie et P d'origine salivaire dans le contenu de rumen ne s'applique sans doute que lorsque les régimes sont carencés ou normalement pourvus en phosphore ; en effet, chez certains animaux, avec des régimes riches en cet élément entraînant une phosphatémie élevée (> 7 mg/p. 100/ml), l'excrétion de P se ferait par la voie urinaire aux dépens de la voie digestive (Field, 1981 ; Scott et McLean, 1981).

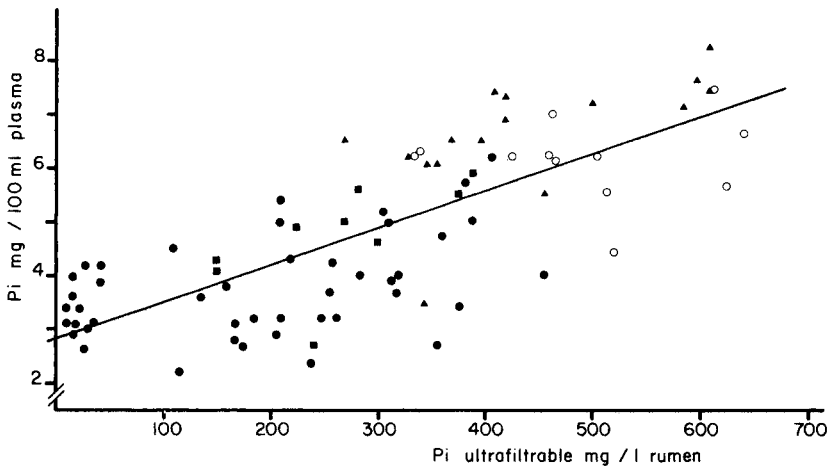


FIG. 8. — Relation entre phosphatémie et Pi ultrafiltrable du contenu de rumen.

$$Pi \text{ plasma} = 0,007 PiU + 2,8 \quad (r = 0,77, n = 79).$$

Régimes : ○ témoin, ■ BCa-BP, ● HtCa-BP, ▲ HtCa-NP.

Conclusion.

Nous avons confirmé dans le présent travail que lorsque le régime est subcarenché en phosphore, une teneur élevée en calcium pouvait, en provoquant une baisse importante de la phosphatémie, réduire l'apport de P salivaire au niveau du rumen. Cette réduction de l'apport endogène associée sans doute à un effet direct de l'excès de Ca soluble dans le contenu de rumen peut conduire à une réduction considérable des teneurs en P disponible pour les microorganismes. Leurs besoins (40-100 mg P/l) n'étant plus couverts, la digestion microbienne à ce niveau risque d'être perturbée. Des incubations *in vitro* réalisées à partir des contenus de rumen les plus pauvres en P ont montré effectivement qu'une faible teneur en P du contenu de rumen entraînait une réduction de la protéosynthèse et de la production d'acides gras volatils (Durand *et al.*, non publié). Or, dans la pratique, les sous-produits agro-industriels pauvres en phosphore et riches en calcium, tels que les pulpes, sont souvent carencés en azote par rapport à l'énergie et peuvent donc être supplémentés par de l'azote non protéique (urée) (Journet, 1981) ; cette dernière forme azotée ne sera utilisée efficacement que si les teneurs en P du milieu de rumen sont suffisantes pour couvrir les besoins des microorganismes. Aussi, nos résultats démontrent l'importance de la complémentation en phosphore de tels régimes.

De plus, l'influence de l'excès de calcium que nous avons observée sur moutons adultes risque d'être amplifiée chez le jeune en croissance : l'effet inhibiteur de la calcitonine sur la résorption osseuse est d'autant plus important que le turnover de l'os est plus rapide (Care, Barlet et Abdel-Hafeez, 1980). Des expériences analogues devront donc être entreprises chez l'animal en croissance.

Reçu en février 1982.

Accepté en mai 1982.

Références

- BARTLETT G. R., 1959. Phosphorus assay in column chromatography. *J. biol. Chem.*, **234**, 466-468.
- BEAUMATIN Ph., 1981. *Influence du phosphore alimentaire sur la digestion et la protéosynthèse microbiennes dans le rumen du mouton*. Thèse Univ. Toulouse, 110 pp.
- BONILLA S. E., 1976. *Phosphorus in the nutrition of sheep : composition of body fluids, microbial fermentation and feed intake*. Thesis, California Davis Univ., 176 pp.
- CARE A. D., BARLET J. P., ABDEL-HAFEEZ H. M., 1980. Calcium and phosphate homeostasis in ruminants and its relationship to the aetiology and prevention of parturient paresis, 429-446. In RUCKEBUSCH Y., THIVEND P., *Proc. 5th int. Symp. Ruminant Physiol.*, Clermont-Ferrand, 3rd-7th sept. 1979. MTP Press Ltd., Lancaster.
- CHEN P. S. Jr., TORIBARA T. Y., WARNER H., 1956. Microdetermination of phosphorus. *Anal. Chem.*, **28**, 1756-1758.
- CLARK R. C., FRENCH T. J., BEAL A. M., CROSS R. B., BUDTZ-OLSEN O. E., 1975. The acute effects of intravenous infusion of parathyroid hormone on urine plasma and saliva in the sheep. *Quart. J. exp. Physiol.*, **60**, 95-106.

- DURAND M., KAWASHIMA R., 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion, 375-408. In RUCKEBUSCH Y., THIVEND P., *Proc. 5th int. Symp. Ruminant Physiol.*, Clermont-Ferrand, 3rd-7th sept. 1979. MTP Press Ltd., Lancaster.
- FIELD A. C., 1981. Some thoughts on dietary requirements of macro-elements for ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, **40**, 267-272.
- FIELD A. C., SUTTLE N. F., NISBET D. I., 1975. Effect of diets low in calcium and phosphorus on the development of growing lamb. *J. agric. Sci. Camb.*, **85**, 435-442.
- HUNGATE R. E., REICHL J., PRINS R., 1971. Parameters of rumen fermentation in a continuously fed sheep : evidence of a microbial rumination pool. *Appl. Microbiol.*, **22**, 1104-1113.
- JOURNET M., 1981. Utilisation de l'azote non protéique par les ruminants, 265-278. In *Prévision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants*. Ed. INRA publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles.
- NEL J. W., MOIR R. J., 1974. The effect of ruminal and duodenal application of different levels of calcium and phosphorus to sheep on semi-purified diets. *S. Afr. J. anim. Sci.*, **4**, 1-20.
- SCOTT D., 1975. Changes in mineral, water and acid-base balance associated with feeding and diet, 205-215. In McDONALD I. W., WARNER A. C. I., *Digestion and metabolism in the ruminant*. Armidale, N.S.W., Univ., of New England Publ. Unit.
- SCOTT D., BEASTALL G., 1978. The effects of intravenous phosphate loading on salivary phosphate secretion and plasma parathyroid hormone levels in the sheep. *Quart. J. exp. Physiol.*, **63**, 147-156.
- SCOTT D., McLEAN A. F., 1981. Control of mineral absorption in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, **40**, 257-266.
- STORRY J. E., 1961. Studies on calcium and magnesium in the alimentary tract of sheep. I. The distribution of calcium and magnesium in the contents taken from various parts of the alimentary tract. *J. agric. Sci.*, **57**, 97-102.
- TERASHIMA Y., TERASHITA S., TOHRAI N., ITOH H., 1976. Effects of intraruminal administration of lactic acid on mineral concentrations in rumen fluid of steers. *Jap. J. zootech. Sci.*, **47**, 166-174.
- TOMAS F. M., 1974. The influence of parathyroid hormone on the secretion of phosphate by the parotid salivary gland of sheep. *Quart. J. exp. Physiol.*, **59**, 269-281.
- TOMAS F. M., MOIR R. J., SOMERS M., 1967. Phosphorus turnover in sheep. *Aust. J. agric. Res.*, **18**, 635-645.
- WISE M. B., ORDOVEZA A. L., BARRICK E. R., 1963. Influence of variations in dietary Ca/P ratio on performance and blood constituents of calves. *J. Nutr.*, **79**, 79-84.
- YANO H., KAWASHIMA R., KOJIMA Y., 1978. Effect of feeding with grains differently processed on macro-mineral concentration of rumen fluid in sheep. *Jap. J. zootech. Sci.*, **49**, 195-197.
- YOUNG V. R., RICHARDS W. P. C., LOFGREEN G. P., LUICK J. R., 1966. Phosphorus depletion in sheep and the ratio of calcium to phosphorus in the diet with reference to calcium and phosphorus absorption. *Br. J. Nutr.*, **20**, 783-794.
-