

A 8310

EFFET DE DEUX RÉGIMES HYPOCALCÉMIANTS SUR LA RÉTENTION ET L'ABSORPTION DU PHOSPHORE ET DU CALCIUM CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

A. POINTILLART, Nicole FONTAINE (*)

I.N.R.A. – Station de Recherches de Nutrition – 78350 JOUY-EN-JOSAS

Travail réalisé avec la collaboration technique de Colette COLIN

(*) Chercheur détaché du CNRS

INTRODUCTION

Chez le porc, le déséquilibre phosphocalcique alimentaire peut, selon BROWN *et al.*, (1966), entraîner des perturbations importantes du métabolisme conduisant à des troubles osseux du type « ostéoporose » ou « ostéofibrose ». L'ostéofibrose, (encore appelée ostéodys-trophie osseuse) selon eux, est liée à un excès de phosphore accompagné ou non d'un apport calcique insuffisant, entraînant une hypocalcémie et, en réaction à celle-ci, une hyper-résorption osseuse.

Cette équipe (KROOK *et al.*, 1975) attribue l'ostéoporose à un hyperparathyroïdisme secondaire d'origine nutritionnelle provoqué par l'excès de phosphore. Nous n'avons pu mettre en évidence d'hyperparathyroïdisme chez le porc recevant un régime riche en phosphore (1,2 %) ou pauvre (0,1 %) en calcium (POINTILLART *et al.*, 1977), alors que la calcémie diminuait dans les deux cas.

Le présent travail complète les aspects hormonaux du déséquilibre phosphocalcique alimentaire (régime riche en P ou pauvre en Ca) décrits en détail par ailleurs (POINTILLART *et al.*, 1978, 1979) par l'étude de l'absorption et de la rétention (bilan, os) du calcium et du phosphore en comparaison avec des porcs recevant un régime normal.

PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

L'expérience s'est déroulée en trois périodes : trois bilans de 10 jours chacun par lot de 4 porcs L.W., de $39,2 \pm 2$ kg de poids moyen avec récolte séparée des urines et des fèces pour mesurer l'absorption (CUDA) et la rétention du calcium et du phosphore.

Le lot carencé en calcium (BCa) a reçu depuis un mois avant le début du bilan, un régime classique maïs-tourteau de soja (environ 2/3 - 1/3) non supplémenté en calcium. Le complément minéral comprend 32 % de phosphate monopotassique anhydre et 60 % de phosphate monosodique anhydre.

Le lot riche en phosphore (HP) a reçu depuis trois semaines avant le bilan, un régime comparable, normocalcique et supplémenté en phosphore. Le C.M. contient 12 % de carbonate de calcium, 66 % de phosphate monocalcique et 20 % de phosphate disodique.

Le lot témoin (N) a reçu le même régime que les deux autres, mais avec un complément minéral classique : 20 % de phosphate bicalcique, 20 % de chlorure de sodium et 50 % de carbonate de calcium.

La composition minérale (en g/kg de M.S.) des trois aliments est la suivante :

	Ca	P	Mg
N	8,7	7,9	1,8
BCa	1,2	5,5	1,7
HP	7,8	11,5	2,5

Les trois aliments contiennent la même proportion de vitamine D₃ (1000 ui/kg) et des teneurs comparables en oligo-éléments et vitamines.

Les porcs du lot BCa ont été abattus à 130 jours d'âge, à la fin du bilan soit au bout de 6 semaines de carence, ceux du lot HP à 120 jours, deux semaines après la fin du bilan, soit 6 semaines de régime HP et ceux du lot témoin à 120 jours, une semaine après le bilan. Les porcs des 3 lots ont des poids comparables : 49 ± 2 (HP) 53 ± 2 (BCa) $50 \pm 0,2$ (N) en kg. La croissance est calculée jusqu'à l'abattage, sur une période égale pour HP et BCa (53 jours), plus courte pour N (36 jours).

Un rein, du plasma et des échantillons d'os des pattes (métacarpiens et/ou métatarsiens) sont prélevés au moment du sacrifice pour les analyses minérales.

Le dosage des minéraux (cendres, Ca, P, Mg) dans l'os est effectué de la façon suivante : les métatarsiens (MT ou les métacarpiens, MC) sont disséqués, puis découpés en divers morceaux. Chaque patte comprend 4 MT (ou MC) : II, III, IV et V correspondant aux 4 doigts. Sur chacun des 2 MT principaux (III et IV) est prélevée, au milieu de la longueur, une rondelle (d'environ 1 à 2 mm de large) représentant la diaphyse (D, os cortical ou compact) : deux extrémités de métatarsiens principaux (III ou IV) sont prélevées (le plus souvent en deçà du cartilage de conjugaison) comme échantillons d'épiphyse (E, os médullaire ou spongieux). Un troisième, MT accessoire (II ou V) constitue « l'os entier » (O), mélange d'os cortical et d'os spongieux ; généralement, le dosage donne pour cet os une valeur intermédiaire située entre les 2 autres (E et D). Parfois, un métatarsien principal complet (ou la moitié) est minéralisé en entier. Pour chaque porc, on a donc au moins 3 valeurs pour un métatarsien : E (en double) D (en double) et O (simple).

La parathormone (PTH, hormone hypercalcémiant qui réagit à l'hypocalcémie en stimulant la résorption osseuse) est dosée à l'abattage pour les lots BCa, HP et N, ainsi que le mois précédent pour N (37 mesures au total). La calcitonine (CT, hormone hypocalcémiant qui inhibe la résorption) est dosée à l'abattage sur le lot HP, les autres valeurs (BCa ou N) provenant d'essais différents avec des régimes comparables. Pour l'os et la calcitonine, sont présentés (dans certains tableaux) les résultats provenant d'une carence en calcium de même durée (6 semaines) réalisée avec le même régime que celui du lot BCa, mais avec 8 animaux abattus plus jeunes (73 à 76 jours). Les valeurs de référence pour la CT proviennent d'animaux ayant reçu un régime du même type que le lot N et abattus à 3 mois. Les dosages plasmatiques des hormones et des minéraux ont déjà été décrits (POINTILLART *et al.*, 1979).

Pour les lots BCa et HP seront rappelées les valeurs rencontrées, pour les mêmes animaux, lorsqu'ils recevaient un régime phosphocalcique normal.

RÉSULTATS COMMENTÉS

1. Croissance et observations cliniques

Le gain moyen quotidien (en g/j) est respectivement de 650 ± 20 , 600 ± 30 , 475 ± 40 (chiffres arrondis) pour les lots N, HP et BCa, l'écart entre BCa et les deux autres étant significatif

($P < 0,01$). Les porcs de ce dernier lot, carencés en calcium, ont présenté des signes apparents de dystrophie osseuse (déformation du groin), ainsi que des crises de tétanie (notamment entre la 2ème et la 3ème semaine de carence), absents des deux autres lots.

2. Plasma

La carence en calcium provoque une hypocalcémie significative, mais relativement modérée (10 % seulement) (tableau 1), la même carence (même durée, même régime) provoque chez les animaux plus jeunes (75 jours à l'abattage) une hypocalcémie plus importante ($\text{Ca} = 7,8 \pm 0,3$ mg/ml, moyenne de 19 porcs, soit une chute de 26 %). L'hypocalcémie du régime riche en phosphore n'est pas significative, alors qu'elle l'était pour les trois premières semaines de régime, surtout le soir (POINTILLART *et al.*, 1979). La carence en calcium entraîne une hypophosphatémie significative, ce qui n'est pas le cas pour les animaux du lot HP. Les régimes, riches en phosphore ou pauvres en calcium, diminuent très nettement la teneur du plasma en calcitonine (tableau 2). Les variations de la PTH sont difficiles à interpréter (tableau 2) ; la valeur moyenne, à l'abattage, du lot HP est significativement supérieure à celles rencontrées pour le lot N au même âge (environ 3 mois, de 85 à 120 jours), mais ne diffère pas de la valeur moyenne du lot HP, lorsque les mêmes porcs, plus jeunes, (entre 70 et 80 jours) recevaient un régime normal (0,6 % P, 0,8 % Ca) (cf. POINTILLART *et al.*, 1978). Il n'y a pas d'hyperparathyroïdisme dans le lot BCa, bien que l'hypocalcémie soit plus nette que pour le lot HP. L'âge a une grande influence sur la teneur en PTH : la régression en fonction du temps est significative pour l'ensemble des 3 lots HP, BCa (lorsqu'ils recevaient un régime de type N) et N : $y = -0,036x + 5,65$ ($y = \text{PTH}$, ng/ml, $x = \text{temps en jours d'âge}$, $r = -0,60$, $dl = 50$, $P < 0,001$). Ni l'un, ni l'autre des régimes déséquilibrés n'ont modifié significativement la magnésémie, plus élevée (NS) cependant dans le lot HP (tableau 1), celui qui a la plus forte teneur en Mg dans le régime (HP : 0,25 %, BCa et N : 0,18 – 0,17 %).

TABLEAU 1
CALCÉMIE, PHOSPHATÉMIE ET MAGNÉSÉMIE
(en mg/100 ml)

	Ca	P	Mg
N	10,5 ± 0,1	7,3 ± 0,1	1,9 ± 0,0
BCa	9,4 ± 0,3*	5,2 ± 0,3*	1,9 ± 0,0
HP	9,9 ± 0,3	6,0 ± 0,8	2,3 ± 0,2

* $P < 0,01/N$.

TABLEAU 2
PARATHORMONE ET CALCITONINE (ng/ml)

	PTH	CT
N	2,0 ± 0,2	2,6 ± 0,3 [■]
BCa { BCa	2,4 ± 0,3	0,9 ± 0,1 ^{■**}
{ T	2,7 ± 0,1	3,1 ± 0,3
HP { HP	3 ± 0,3*	1,3 ± 0,5 ^{**}
{ T	3,3 ± 0,03	2,7 ± 0,3

T valeur moyenne pour la période où ces mêmes animaux recevaient un régime normal (POINTILLART *et al.*, 1978, 1979).

■ valeurs issues d'autres essais (cf. texte).

* $P < 0,05/N$ ** $P < 0,01/N$ ou T.

3. Bilans

a. Calcium

Avec le régime pauvre en calcium, l'apport calcique est diminué d'environ 7 fois par rapport au régime normal et l'absorption et la rétention chutent dans les mêmes proportions.

L'hypocalciurie significative (tableau 3) correspond au 1/3 de l'excrétion urinaire de Ca du lot N. En valeur relative, absorption et rétention sont comparables à celles du lot témoin. Toutefois, si l'on estime l'endogène fécal à 1,2 g (30 mg/kg de poids vif, d'après BESANÇON et GUEGUEN, 1969), l'absorbé réel (2,1 g/j) deviendrait supérieur à l'ingéré (2 g/j) chez les carencés donnant un CUDr > 100 %, ce qui bien évidemment est impossible, il faut donc admettre que la carence a entraîné une baisse de l'excrétion fécale endogène. Les capacités d'absorption ont été nettement stimulées comme l'indique l'augmentation (x 2 dans le duodénum) de la teneur en CaBP de l'intestin décrite par ailleurs (THOMASSET *et al.*, 1979).

TABLEAU 3
ABSORPTION ET RÉTENTION DU CALCIUM ET DU PHOSPHORE

	Calcium			Phosphore		
	N	BCa	HP	N	BCa	HP
Ca ou P %	0,9	0,1	0,8	0,8	0,6	1,2
Ingéré g/l	12,9 ± 0	1,9** ± 0,1	11* ± 0,6	11,5 ± 0	7,4** ± 0,4	16** ± 1
Fécal g/j	6,3 ± 0,1	1,0** ± 0,1	5,5 ± 0,6	5,4 ± 0,2	3,3** ± 0,2	5,9 ± 0,8
Absorbé g/j	6,5 ± 0,1	0,9** ± 0,2	5,6** ± 0,2	6,3 ± 0,1	4,1** ± 0,3	10,2** ± 0,4
CUDa % i.	50,8 ± 1,1	44,7 ± 6,8	50,8 ± 3,2	53,8 ± 1,3	55,3 ± 1,4	63,9* ± 3,1
Urinaire [■]	95 ± 2,5	33** ± 0,5	90 ± 17	1 ± 0,1	2,5** ± 0,1	4,3** ± 0,3
Retenu g/j	6,4 ± 0,1	0,8** ± 0,2	5,3 ± 0,1	5,3 ± 0,1	1,6** ± 0,2	5,9* ± 0,2
CR % i.	50,1 ± 1,1	42,9 ± 6,8	50 ± 3,1	46,3 ± 1,4	20,4** ± 2	36,5** ± 2,4

* P < 0,05

** P < 0,01

■ mg/j pour Ca g/j pour P.

Avec le régime riche en phosphore, l'absorption et la rétention de calcium (en g/j) sont légèrement inférieures à celles des témoins, la différence correspond à l'écart dans les apports (de 14 % que l'on retrouve pour l'absorbé et le retenu), ce qui confirme l'absence de différence en valeur relative : les CUDa et les CR (en % de l'ingéré) sont comparables, il n'y a pas de modification de l'excrétion fécale ni de l'excrétion urinaire.

b. Phosphore

Avec le régime pauvre en calcium, l'apport de phosphore est inférieur de 36 % environ à celui du lot N ; on retrouve cet écart au niveau de l'absorption (en g/j : - 35 %), mais pas au niveau de la rétention qui diminue beaucoup plus (- 70 % environ). Le CUDa du phosphore n'est pas modifié par la carence calcique, tandis que la rétention diminue considérablement : le CR (en % de l'ingéré) est inférieur à la moitié de celui du lot N, ce qui provoque une hyperphosphaturie très importante (35 % environ de l'ingéré contre 7,5 % chez les témoins).

Avec le régime enrichi en phosphore, la quantité de phosphore absorbé augmente en valeur absolue (x 1,6) ou relative (x 1,2 l'accroissement est de 20 % par rapport au lot N) ; par

contre, l'excès de phosphore absorbé (écart de 4 g/j avec le lot N) est très mal retenu (écart de 0,6 g/j avec N, faible mais significatif) comme le montre l'hyperphosphaturie très importante (plus de 4 g/j) soit presque 30 % de l'ingéré). En conséquence, la rétention en valeur relative diminue significativement, moins toutefois qu'avec le régime hypocalcique (chute de 20 % avec HP contre > 50 % avec BCa comparés à N). La rétention des minéraux (calcium et phosphore) est donc plus affectée par la carence en calcium que par l'excès de phosphore. L'absorption n'est modifiée que pour le minéral apporté en excès ou faisant défaut, autrement dit, le rapport Ca/P (BCa : 0,2, HP : 0,7, N : 1,1) ne joue aucun rôle dans les modifications de l'absorption. Les deux régimes sont responsables d'une hyperphosphaturie sans rapport direct avec les variations du phosphore ingéré, traduisant des perturbations osseuses importantes (minéralisation insuffisante ou déminéralisation excessive).

4. Reins

La nephrocalcinose (accumulation anormale de calcium) est patente pour le lot HP (tableau 4) ; pour le lot BCa, le contenu en minéraux (Ca et Mg) est légèrement diminué comparé au lot N, le contenu en P reste inchangé.

TABLEAU 4
TENEUR EN Ca, P ET Mg DU TISSU RÉNAL
(en mg/g de rein sec)

	Ca	P	Mg
N	0,43 ± 0,01 ^a	12,8 ± 0,3	1,6 ± 0,1
BCa	0,38 ± 0,01 ^b	11,9 ± 0,3	0,8 ± 0,02 ^b
HP	7,53 ± 2,33 ^c	14,7 ± 1,6	1,4 ± 0,1 ^a

Les valeurs ne portant pas les mêmes lettres sont différentes ($P < 0,01$).

5. Os

a. Carence en calcium

Les résultats osseux sont dans l'ensemble assez aléatoires. Globalement, les teneurs en calcium et en phosphore du métatarsien ne sont pas affectées par la carence, la teneur en calcium diminue légèrement (NS) seulement dans l'os spongieux (épiphyse, tableau 5) pour les 4 animaux abattus à 130 jours. Pour les 8 animaux abattus à 75 jours (après le même temps de carence), la teneur en calcium diminue très significativement dans l'os spongieux, l'os entier (métatarsien secondaire V) et l'os cortical alvéolaire (20 % contre 23 % pour les témoins d'âge comparable, $P < 0,01$) (DACULSI, non publié), ainsi que celle de phosphore dans les trois échantillons d'os (NS, sauf pour O, $P < 0,05$). L'os haversien (diaphyses) apparemment n'est pas modifié par la carence calcique, ce qui explique peut-être les valeurs de Ca et de P supérieures rencontrées avec BCa comparativement à celles du lot N abattu 10 jours plus jeune.

A ces résultats, il faut ajouter ceux obtenus ailleurs sur les mêmes animaux concernant l'histologie de l'os mandibulaire (DACULSI *et al.*, 1978) et l'excrétion urinaire d'hydroxyproline (POINTILLART *et al.*, 1979). La carence calcique entraîne une déminéralisation osseuse intense se traduisant par un doublement des espaces médullaires (mesure du rapport « creux/pleins » faite en microscopie électronique à balayage sur l'os alvéolaire : 42 % avec BCa, 22 % pour N) et la taille des ostéocytes est x 1,8. L'hydroxyprolinurie augmente au cours de la carence ($y = 2,2x + 133$, $y =$ hydroxyproline, mg/j ; $x =$ durée de la carence en jours ; $r = 0,54$; d.l. 22 ; $P < 0,01$) pour atteindre vers la fin une valeur moyenne deux fois plus élevée que la normale (200 mg/j au lieu d'environ 100 mg/j), ce qui signifie une hyperrésorption (hyperostéoclasie ou lyse osseuse accentuée).

TABEAU 5
COMPOSITION MINÉRALE DES OS DU PIED
(% MS)

Régime	Age (n)	Os	Type d'os					
			D		E		O	
			Ca	P	Ca	P	Ca	P
HP	120 (4)	MC	18*	10	20■	10■	16*	8
		MT	14*	6*	—	—	—	—
BCa	130 (4)	MT	23■	12■	14	8	18	10
	75 (8)	MT	20	10	13*	7	16*	9*
N	120 (4)	MT	20	9	16	7	21	9
	90 (8)	MT	20	11	16	8	21	10

MC : métacarpien — MT : métatarsien — D : diaphyse (os cortical) — E : épiphyse (os spongieux) — O : os entier.

Age : en jours à l'abattage — (n) : nb de porcs.

* : < N (P < 0,05) — ■ : > N (P < 0,05).

Chiffres arrondis, les écart-types ne sont pas mentionnés pour alléger le tableau.

La concordance entre les signes cliniques (déformation des os de la face), les signes histologiques (hyper-résorption) certains signes biochimiques (hypocalcémie, hyperhydroxyprolinurie) et l'analyse de la composition minérale des os n'est pas toujours évidente. Certains os ou certaines parties osseuses ont des teneurs normales en Ca et P et d'autres non, alors que l'ensemble des données permet avec certitude de diagnostiquer une ostéolyse exacerbée avec une ostéogénèse insuffisante, le tout conduisant à une déminéralisation osseuse prononcée.

Certains résultats tel que l'hyper-résorption osseuse (histologie, hyperhydroxyprolinurie), la baisse de la calcémie, de la phosphatémie, l'hyperphosphaturie, l'hypocalciurie font penser à un hyperparathyroïdisme, ce que le dosage de la parathormone ne confirme pas. La réduction très importante de la calcitonine circulante pourrait compenser l'absence de réaction parathyroïdienne ou bien, la réaction du porc face à un apport calcique insuffisant est-elle à terme relativement indépendante de la régulation hormonale comme l'indiquerait la stimulation des capacités d'absorption de l'intestin, laquelle dépend surtout de la vitamine D (cf. THOMASSET *et al.*, 1979).

b. Régime riche en phosphore

L'examen des échantillons d'os métatarsien indique une déminéralisation très sévère de l'os compact (D : environ — 30 % pour Ca et — 40 % pour P, pour les cendres HP : $38,5 \pm 2,9$ et N-120 : $62 \pm 0,7$, $P < 0,01$, soit environ 40 % en moins) ; pour l'os métacarpien, la teneur en calcium diminue dans l'os entier (métacarpien principal II) et la diaphyse (tableau 5 : D et O). Les teneurs plus élevées en calcium et en phosphore de l'os spongieux (métacarpe) sont inexplicables.

Donc, en fonction du type d'os ou de l'os auquel on se réfère, quel que soit le régime, BCa ou HP, la déminéralisation n'est pas toujours évidente à l'analyse minérale. Les autres critères osseux semblent beaucoup plus fiables que celle-ci.

La chute de la teneur en minéraux des os révèle un trouble profond du métabolisme phosphocalcique, mais celui-ci peut passer inaperçu à l'examen de ce seul paramètre.

En conséquence, le contenu en minéraux des os paraît être un critère insuffisant pour la définition des apports phosphocalciques (et vit. D) à recommander.

Pour le régime riche en phosphore, la plupart des données convergent vers une stimulation de la résorption osseuse (chute des minéraux de l'os, tendance à l'hypocalcémie, hyperphosphaturie) sous l'effet d'un hyperparathyroïdisme. La nephrocalcinose, particulièrement importante (taux de calcium $\times 18$ environ), est également un symptôme de l'hyperparathyroïdisme. Pourtant, au niveau du dosage de la PTH plasmatique, les résultats sont confus : les 4 porcs du lot HP présentent à l'abattage (120 jours) une valeur moyenne de PTH supérieure à celle des porcs du lot N (abattus au même âge), mais qui ne diffère pas de la valeur moyenne observée, lorsque ces animaux, plus jeunes (60-70 jours) recevaient un régime normal (0,60 % P) (POINTILLART *et al.*, 1978).

Là encore, comme pour la carence calcique, l'hypocalcitoninisme, particulièrement net (chute de moitié), « l'emporte » sur l'hyperparathyroïdisme en tant que réaction à l'excès de phosphore dans le régime.

DISCUSSION ET CONCLUSION

1. Absorption

L'absorption du phosphore varie proportionnellement à l'apport de P ($y = 0,67 x - 1,05$, $y =$ absorbé, g/j , $x =$ ingéré en g/j , $r = 0,97$, $P < 0,01$ pour d.l. 10) indépendamment de l'apport calcique. Il en est de même pour celle du calcium ($y = 0,5 x - 0,05$, $r = 0,99$, $P < 0,01$) par rapport au phosphore. De ce point de vue, le déséquilibre phosphocalcique alimentaire ne pose pas de problème.

Pour les porcs BCa, l'absorption calcique est stimulée très fortement : si l'on tient compte de l'excrétion fécale d'origine endogène, pratiquement tout le calcium ingéré est réellement absorbé. L'augmentation de la teneur en CaBP de la muqueuse intestinale (THOMASSET *et al.*, 1979) confirme cette stimulation et signifie également que le métabolisme de la vitamine D (principal responsable de l'absorption calcique) est activé. L'absorption réelle augmentée s'est produite sans hyperparathyroïdisme. Ce résultat va dans le même sens que ceux de LITLEDIKE (1965) : quand l'apport calcique est suffisant, la parathyroïdectomie est pratiquement sans conséquence à terme sur la calcémie. FOX *et al.*, (1977) concluent également que, chez le porc, ni la PTH, ni la CT ne sont nécessaires à l'adaptation de l'intestin à un apport insuffisant de Ca.

2. Rétention

La chute de la rétention du calcium (en g/j) par défaut d'apport, chez les porcs carencés entraîne une baisse très importante de la rétention du phosphore : le calcium et le phosphore doivent être fixés en même temps par l'os sous forme d'hydroxyapatite dans un rapport voisin de 2 : le phosphore, normalement absorbé, ne peut être retenu faute de calcium (39 % du P absorbé est retenu pour BCa et 84 % pour le lot N), le phosphore est donc éliminé dans les urines (hyperphosphaturie). Il semble que l'os spongieux, à remodelage actif, soit le plus atteint, ainsi que les os les plus sensibles : cornets nasaux et mâchoires.

L'excès de phosphore ne modifie pas sensiblement la rétention calcique, bien que la teneur en Ca ait diminué significativement à trois reprises (MC : D et O, MT : D, tableau 5) comparativement aux valeurs des témoins abattus au même âge (4 mois) ; la discordance pourrait résulter du décalage de deux semaines entre le bilan et les mesures osseuses. L'accroissement de la phosphaturie (P urinaire $\times 4,3$; g/j) est proportionnellement plus grand que celui de l'apport supplémentaire de P ($\times 1,4$), ce qui indique une hyper-résorption osseuse expliquant la chute très importante de la rétention du phosphore : 58 % de P absorbé est retenu pour HP, la proportion

étant de 84 % pour N. Au niveau osseux, cette chute n'apparaît significativement que sur un seul échantillon (MT : D) : il est vraisemblable que certains os (ou type d'os) sont plus sensibles que d'autres (BROWN *et al.*, 1966).

La composition minérale des os est un critère assez peu fiable en ce qui concerne les perturbations du métabolisme osseux, ce qui a été montré avec la carence en vitamine D (POINTILLART, 1980), la carence en calcium ou en phosphore (MAURY et COLIN, 1979) chez le porc.

3. Ostéoporose, ostéofibrose ou rachitisme ?

Aucun des 3 lots n'a présenté de défauts d'aplomb du type « syndrome de la faiblesse des pattes », alors que le lot BCa, à plusieurs reprises, a manifesté les signes cliniques de la carence calcique, ce qui indirectement confirme que les apports minéraux sont sans liaison avec ce syndrome.

Dans la carence en vitamine D, les minéraux font défaut, car l'absorption est diminuée ; il en résulte à la fois une minéralisation incomplète de l'os (par manque de Ca et P) et une déminéralisation (hyper-résorption) visant à contrer l'hypocalcémie. Dans la carence en calcium, l'absorption ne diminue pas (au contraire), par contre tous les autres symptômes s'apparentent au rachitisme.

Dans l'ostéoporose, la composition de l'os ne change pas, mais il y a raréfaction osseuse (= ostéopénie) ce qu'on retrouve ici au niveau des mâchoires (le volume d'os diminue de moitié, DACULSI *et al.*, 1978) pour le lot BCa. La carence en calcium aurait donc engendré des troubles du type rachitique et du type ostéoporotique (cf. composition inchangée de certains os, tableau 5).

L'ostéofibrose se caractérise essentiellement par une hyper-résorption osseuse ; elle s'accompagne d'une hypocalcémie, mais il y a hyperphosphatémie (KROOK *et al.*, 1975) et non hypophosphatémie comme ici pour les régimes BCa (significative) et HP (non significative).

L'ostéofibrose, selon BROWN *et al.*, (1966), est pourtant un signe classique de la surcharge alimentaire de phosphore, mais les présents résultats ne vont pas dans ce sens.

4. Régulation hormonale

Les deux régimes étant hypocalcémisants, à des degrés différents (BCa > HP) on aurait pu s'attendre à l'apparition d'un hyperparathyroïdisme qui expliquerait l'hypermobilisation osseuse ; il semble que le porc réagisse plutôt en diminuant la sécrétion de calcitonine.

EN CONCLUSION

Si l'on se réfère aux perturbations biochimiques du métabolisme phosphocalcique, l'excès de phosphore serait aussi néfaste que la carence calcique. Si l'on se réfère aux signes apparents, croissance et symptômes cliniques, la carence calcique est beaucoup plus dangereuse pour la santé de l'animal que l'excès de P.

Dans la pratique, cette surcharge est plus à craindre que le manque de calcium du fait de la tendance générale (des éleveurs ou des fabricants) à augmenter les apports minéraux. L'apport calcique du régime HP, 8 g/kg, est légèrement inférieur aux recommandations actuelles (9,5 g/kg de MS du régime, GUEGUEN et PEREZ, 1981) et vraisemblablement aux apports usuels. Il est possible qu'avec un apport calcique plus élevé les rations enrichies en phosphore soient moins néfastes, mais cela reste à vérifier : la plupart des résultats connus (lapin : JOWSEY et

BALASUBRAMANIAN, 1972 ; porc : BROWN *et al.*, 1966 ; cheval : SCHRYVER *et al.*, 1971 ; chien : LAFLAMME et JOWSEY, 1972 ; homme : ZEMEL et LINKSWILLER, 1981) inclinent à déconseiller l'excès de phosphore.

BIBLIOGRAPHIE

- BESANÇON P., GUEGUEN L., 1969. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **9**, 537.
- BROWN W., KROOK L., POND W., 1966. Cornell Vet., **56**, suppl., 3-127.
- DACULSI G., KEREBEL B., KEREBEL L.M., 1978. J. Dent. Res., **57**, 1043.
- FOX J., SWAMINATHAN R., MURRAY T., CARE A., 1977. J. Endocr., **74**, 345-354.
- GUEGUEN L., PEREZ J.M., 1981. Proc. Nutr. Soc., **40**, 273-278.
- JOWSEY J., BALASUBRAMANIAN P., 1972. Clin. Sci., **42**, 289-299.
- KROOK L., WHALEN J., LESSER G., BÉRENS D., 1975. Meth. Achiev. exp. Pathol., **7**, 72-108.
- LAFLAMME G., JOWSEY J., 1972. J. Clin. Invest., **51**, 2834-2840.
- LITLEDIKE, 1965. Ph. D. Thesis. Urbana, Illinois, Xerox Univ. Microfilms. Ann. Arbor ed. USA, pp. 131.
- MAURY Y., COLIN M., 1979. Journées Rech. porcine en France, **11**, 299-310.
- POINTILLART A., 1980. Journées Rech. porcine en France, **12**, 335-344.
- POINTILLART A., GAREL J.M., GUEGUEN L., 1978. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **18**, 699-709.
- POINTILLART A., GAREL J.M., GUEGUEN L., 1979. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **19**, 647-659.
- POINTILLART A., GUEGUEN L., GAREL J.M., 1977. Journées Rech. porcine en France, **9**, 283-288.
- SCHRYVER H., HANTZ H., CRAIG P., 1971. J. Nutr., **101**, 259-264.
- THOMASSET M., POINTILLART A., CUISINIER-GLEIZES P., GUEGUEN L., 1979. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., **19**, 769-773.
- ZEMEL M.B., LINKWILER H.M., 1981. J. Nutr., **111**, 315-324.