

Article original

Absence d'effet de l'incorporation d'un phosphopeptide du lait sur l'utilisation du calcium et du phosphore chez le jeune porc

A. Pointillart et L. Guéguen

avec la collaboration technique de P. Camus, B. Cayron et C. Colin

INRA, station de recherches de nutrition, 78350 Jouy-en-Josas, France

(reçu le 19 janvier 1989, accepté le 3 juillet 1989)

Résumé — Les phosphopeptides issus de la caséine sont prétendus augmenter l'absorption intestinale du calcium. Une étude de 50 jours a été effectuée sur des porcs âgés de 6 semaines et recevant soit un régime témoin (T), soit un régime contenant 5 % d'un phosphopeptide du lait (PP). Les 2 régimes contenaient les mêmes quantités de Ca (0,8 %), de P (0,5 %), de protéines, d'énergie et de vitamines. Environ la moitié du calcium total, le tiers du phosphore total et le cinquième des protéines du régime PP étaient fournis par le phosphopeptide. Les excréctions fécale et urinaire, l'absorption et la rétention de Ca et P ont été mesurées après un bilan de 10 jours. Le tibia et le péroné ont été prélevés à l'abattage pour déterminer la densité, le moment de flexion et le contenu en minéraux.

Le régime alimentaire, T ou PP, n'a eu aucune influence sur l'absorption du calcium ni sur les paramètres osseux (dont l'hydroxyprolinurie). L'absorption de P, mais pas sa rétention, était légèrement plus élevée dans le lot témoin. L'excrétion urinaire de Ca était plus forte et celle de P plus faible chez les porcs recevant le phosphopeptide, ce qui pourrait provenir de différences de nature du phosphore alimentaire, plutôt que de celle des protéines.

phosphopeptide — phosphore — calcium — porc

Summary — **Effect of casein phosphopeptides on calcium and phosphorus utilization in growing pigs.** Casein phosphopeptides are known to influence calcium absorption. A 50-day study was performed in 6-week old pigs fed either a control diet or a 5 % casein phosphopeptide-containing diet (PP group). Both diets provided similar amounts of Ca (0.8 %), P (0.5 %), proteins, energy and vitamins. PP diet provided near 1/2 of total Ca, 1/3 of total P and 1/5 of proteins in the form of casein phosphopeptide. Ca and P excretion, absorption and retention were evaluated during a 10-day balance study. Bones were collected at slaughter to determine density, bending moment and bone mineral content.

Calcium absorption and bone parameters (urinary hydroxyproline included) were not influenced by the type of diet. P absorption, but not retention, was slightly higher in the control group. Urinary

Ca was higher and urinary P lower in PP pigs than in controls. These changes might result from the different kinds of dietary phosphorus, inorganic versus phosphopeptide, rather than from the difference between dietary proteins.

phosphopeptide — phosphore — calcium — pig

INTRODUCTION

Les produits laitiers constituent la source principale du calcium consommé par l'homme. La majeure partie de ce calcium est liée aux protéines du lait et plus particulièrement aux caséines, jusqu'à 95 % dans le lait de rate selon une étude très récente (Blake & Henning, 1988).

Les phosphopeptides obtenus *in vitro* par digestion trypsique et pepsique de la caséine sont de puissants facteurs de solubilisation du calcium. Ainsi, Reeves & Latour (1958) montrent qu'un hydrolysât, par du suc pancréatique, de caséine peut maintenir en solution le phosphate bicalcique même en ébullition prolongée. Un hydrolysât trypsique de caséine stimule le transfert de ^{45}Ca dans l'anse duodénale isolée de poulets rachitiques ou non (Mykkanen & Wasserman, 1980). Cet effet serait attribué à la capacité des phosphopeptides à prévenir la précipitation du calcium par les phosphates dans la lumière intestinale (Naito & Suzuki, 1974). Lee *et al.* (1979, 1980, 1983) montrent que la digestion de la caséine par le rat produit des phosphopeptides similaires à ceux obtenus *in vitro* par digestion enzymatique et que, comparée à d'autres protéines, la caséine permet une augmentation de la concentration en calcium soluble du contenu luminal. Les mêmes auteurs (Sato *et al.*, 1983), en répétant leurs essais avec de la caséine déphosphorylée, montrent que l'effet de solubilisation calcique disparaît. Toutefois, cet effet favorable à l'absorption calcique ne semble pas inhérent au phosphore lui-même comme le suggèrent

les résultats de Mykkanen et Wasserman (1980). L'équipe japonaise (Sato *et al.*, 1986) a également observé une augmentation du transfert calcique, mesuré sur anse iléale isolée, et une meilleure rétention osseuse de ^{45}Ca avec le caséinophosphopeptide en comparaison avec un isolat protéique de soja. *In vitro*, l'hydrolysât trypsique de caséine permet également une augmentation de la calcification mesurée avec des cultures embryonnaires d'os de rat (Gerber & Jost, 1986) parallèlement à un effet de solubilisation du calcium dans le milieu.

Chez le porcelet de 4 jours, la réalisation d'un court bilan (72 h) montre qu'à niveau protéique égal, les régimes contenant de la caséine conduisent à une plus grande rétention de Ca et Mg que ceux contenant des protéines de soja; le doublement de l'apport de caséine (40 vs 20 %) augmente l'absorption de Ca, P et Mg tandis que le contraire est observé avec l'isolat protéique de soja (Hendricks *et al.*, 1970). Chez le Rat, à niveau calcique égal, les régimes contenant du caséinate de calcium permettent une disponibilité du calcium (mesurée par la technique du rapport des pentes de minéralisation osseuse) supérieure à celle du carbonate (Wong & Lacroix, 1980).

Il existe cependant plusieurs travaux très récents qui tendent à prouver que la biodisponibilité du calcium des produits laitiers n'est pas supérieure à celle d'autres formes d'apport calcique minérales ou non (acétate, chlorure, gluconate, lactate, carbonate, citrate) (Smith *et al.*, 1987; Recker *et al.*, 1988; Sheikh *et al.*, 1987; Greger *et al.*, 1987). A l'exception

de ceux de Greger *et al.* (1987) estimant l'absorption calcique par la méthode des bilans sur une période d'environ un mois, les autres essais sont réalisés en temps très court, parfois moins de 24 h. Enfin, la plupart des résultats obtenus directement avec les phosphopeptides proviennent de l'utilisation de méthodes *in vitro*, autrement dit de mesures indirectes de l'absorption calcique.

C'est pourquoi nous avons étudié, par comparaison avec des porcs recevant un régime classique, les effets sur le métabolisme phosphocalcique et la minéralisation osseuse de la substitution d'une partie des protéines de ce régime (essentiellement tourteau de soja) par un caséinophosphopeptide, à raison de 5 %, apportant pratiquement la moitié du calcium ingéré, 1/3 de P et 1/5 des protéines. Ce phosphopeptide, riche en calcium (7 %) et en phosphore (3 %) résultait de l'hydrolyse *in vitro* par la trypsine de la caséine du lait. Le faible pourcentage de phosphopeptide utilisé était justifié par des considérations pratiques : il était question de voir si ce

produit pouvait ou non constituer une source de calcium hautement disponible et non de comparer les effets de 2 sources de protéines, complètement différentes, sur l'utilisation du calcium.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Animaux et régimes

Douze porcelets Large-White pesant $13,3 \pm 0,5$ kg, âgés de 44 jours, ont été répartis en 2 lots, 6 recevant l'aliment expérimental contenant 5 % de phosphopeptide (lot PP) et 6 l'aliment témoin (lot T). Après 52 jours, les animaux furent abattus pour permettre les prélèvements osseux mais, auparavant, un bilan de 10 j était réalisé sur 6 animaux du lot PP et 5 du lot T, après une période d'un mois d'adaptation aux régimes et une semaine d'adaptation aux cages. La composition complète des aliments et les principales caractéristiques du phosphopeptide utilisé figurent dans le Tableau I. Les 2 aliments répondent aux besoins des porcs et assurent des apports comparables en énergie

Tableau I. Composition des régimes (%).

Régimes	T	PP
Blé	75	79,4
Tourteau de soja-50	22	14
Caséinophosphopeptide ¹	—	5
Chlorure de sodium	—	0,25
Carbonate de calcium	2	1,1
Phosphate monosodique, 2H ₂ O	0,9	—
CMV ²	0,15	0,15
Calcium	0,84	0,80
Phosphore total	0,55	0,51

¹ Phosphopeptide obtenu par hydrolyse chymotrypsique de la caséine du lait contenant 6,7 % de Ca, 3,4 % de P, 68,9 % de protéines brutes (dont 2,6 % de méthionine; 4,8 % de lysine), 0,8 % de Na. ² Complément minéral et vitaminique apportant en mg/kg d'aliment, Cu : 130 (CuSO₄, 5H₂O), Zn : 150 (ZnSO₄, H₂O); Fe : 80 (FeSO₄, 7H₂O), Mn : 30 (MnSO₄, H₂O), Co : 1 (CoSO₄, 7H₂O), I : 0,6 (KI), Se : 0,3 (Na₂SeO₃); vitamines par kg d'aliment, A : 5000 UI, D₃ : 1000 UI, E : 20 mg, B₁ : 2 mg, B₂ : 5 mg, B₆ : 5 mg; C : 20 mg, B₁₂ : 25 µg, niacine : 20 mg, biotine : 60 µg, acide folique : 1 mg, chlorhydrate de choline : 1 g, pantothénate de calcium : 10 mg.

(3 300 kcal d'énergie digestible/kg), en protéines (19 % de protéines brutes, aminoacides soufrés (méthionine + cystine) : 0,7 %; 0,3 % de méthionine pour T et 0,4 % pour PP; 0,9 % de lysine, en vitamines et en minéraux. Au cours du bilan, les rapports en calcium (15 g/j) et phosphore (10 g/j) étaient pratiquement identiques à ceux recommandés par l'INRA pour les porcs en croissance de 35 kg (Guéguen & Perez, 1981); le régime PP n'était pas supplémenté en phosphore minéral, tout le phosphore ayant été apporté par les matières premières : blé, tourteau de soja et phosphopeptide. Cela a nécessité l'incorporation de 0,9 % de phosphate monosodique dihydraté au régime témoin pour obtenir une teneur équivalente en phosphore total. Ainsi, 33 % du phosphore du régime T était sous forme minérale, le phosphopeptide fournissant également un tiers du phosphore total dans le régime PP et les apports de phosphore végétal étant comparables pour les 2 régimes (0,37 et 0,33 % pour T et PP respectivement). Pour le régime témoin, pratiquement la totalité (90 %) du calcium était apportée par le carbonate contre la moitié (51 %) pour le régime PP, 40 % étant apportés par le phosphopeptide. Avec le régime témoin, environ la moitié (55,5 %) des protéines venaient du tourteau de soja contre un tiers (35 %) avec le régime PP; ainsi les 5 % de phosphopeptide apportaient environ 1/5 (18 %) des protéines. On peut donc considérer qu'il y a pratiquement substitution de 5 % de phosphopeptide à 7 % de tourteau de soja.

Prélèvements et mesures

Le sang collecté à l'abattage a permis la mesure des concentrations plasmatiques de calcium, de phosphore inorganique et de l'activité phosphatase alcaline. Le tibia et le péroné droits ont été utilisés pour déterminer la densité apparente et la résistance à la rupture, évaluée par le moment de flexion, ainsi que la composition minérale (sur le tibia seulement : teneur en cendres, Ca et P). Le moment de flexion (M) correspond à la force nécessaire (F en newton) pour rompre une longueur (L, m) déterminée d'os, cette force étant appliquée au milieu de la diaphyse, celle-ci reposant sur deux couteaux. Ce moment de flexion est

calculé suivant la formule : $M = F \times L/4$. La mesure a été réalisée sur une machine universelle de testage (INSTRON 1102). La résorption osseuse a été estimée par dosage de l'hydroxyproline dans les urines récoltées au cours du bilan. Le bilan a permis de calculer le coefficient d'utilisation digestive apparente (CUDa, en % de l'ingéré), le coefficient de rétention des minéraux ainsi que les excréctions, urinaire et fécale, de Ca et P. La méthodologie des mesures est identique à celle précédemment décrite (Pointillart *et al.*, 1986). Les résultats sont présentés sous forme de moyennes \pm écarts types des moyennes comparées à l'aide du test *t* de Student.

RÉSULTATS

Performances

La vitesse de croissance, l'indice de consommation et les poids vifs à l'abattage sont comparables pour les 2 groupes de porcs (Tableau II).

Calcémie, phosphatémie, phosphatémie

Elles ne sont pas modifiées par la nature des régimes (Tableau III).

Absorption et rétention des minéraux

L'incorporation de 5 % de phosphopeptide, malgré sa contribution pour au moins 40 % du calcium consommé, n'a eu aucun effet sur les divers paramètres du bilan calcique à l'exception de la calciurie, significativement plus élevée chez les porcs du lot PP que chez les témoins

Tableau II. Performances.

<i>Régimes</i>	<i>T</i>	<i>PP</i>
Poids vif à l'abattage, kg	48,8 ± 0,9	49,2 ± 1,1
Gain moyen quotidien, kg	0,68 ± 0,01	0,69 ± 0,02
Indice de consommation ¹	2,32 ± 0,10	2,47 ± 0,14

¹IC : kg d'aliment consommé par kg de gain de poids, calculé durant le séjour en cages individuelles (3 dernières semaines).

(Tableau IV). Avec le régime PP, l'absorption du phosphore tend à être légèrement inférieure à celle observée avec le régime témoin. Cette différence est significative quand l'absorption est exprimée en g/jour, mais marque seulement une tendance quand elle est exprimée en valeur relative (% de l'ingéré). Cet écart disparaît au niveau de la rétention en raison d'une phosphaturie 3 fois plus forte chez les témoins, ce qui s'exprime clairement lorsqu'on rapporte la rétention aux quantités absorbées : la proportion absorbée qui est retenue est significativement plus importante avec le régime PP (Tableau IV).

Paramètres osseux

Aucun des paramètres osseux en rapport avec la minéralisation, la résistance à la rupture ou la résorption n'a été influencé par la présence du caséinophosphopeptide dans le régime (Tableau V). Ces résultats sont cohérents avec les rétentions similaires de Ca et P observées lors du bilan.

DISCUSSION

Le remplacement d'environ un tiers de l'apport total de tourteau de soja par 5 %

Tableau III. Calcémie, phosphatémie et phosphatasémie.

<i>Régimes</i>	<i>T</i>	<i>PP</i>
Ca, mg/100 ml	10,92 ± 0,06	10,53 ± 0,21
P, mg/100 ml	8,27 ± 0,14	8,42 ± 0,18
Phosphatase alcaline, UI/l	147 ± 18	133 ± 10

Aucun écart n'est significatif

Tableau IV. Bilans de Ca et P.

	Calcium		Phosphore	
	T	PP	T	PP
Ingéré, g/j	15,6 ± 0,7	15,3 ± 0,6	10,3 ± 0,5	9,8 ± 0,4
Fécal, g/j	7,9 ± 0,4	7,5 ± 0,4	4,2 ± 0,3	4,5 ± 0,3
Absorbé, g/j	7,7 ± 0,5	7,8 ± 0,2	6,1 ± 0,3	5,3 ± 0,1*
Absorption, % ingéré	49 ± 2	51 ± 1	59 ± 2	54 ± 2°
Urinaire, g/j	0,18 ± 0,02	0,27 ± 0,03**	1,23 ± 0,07	0,36 ± 0,05***
Retenu, g/j	7,5 ± 0,5	7,5 ± 0,3	4,8 ± 0,3	5,0 ± 0,1
Rétention, % ingéré	48 ± 2	49 ± 1	47 ± 2	51 ± 2
Rétention, % absorbé	98 ± 0,2	96 ± 0,4*	79 ± 1,7	93 ± 0,9***

Signification statistique des différences entre T et PP (test *t*) : ° 0,05 < *P* < 0,10; * *P* < 0,05; ** *P* < 0,02; *** *P* < 0,001.

d'un phosphopeptide provenant de l'hydrolyse *in vitro* de la caséine n'a pas influencé la rétention des minéraux, que celle-ci soit examinée au niveau du bilan ou au niveau osseux. En revanche, au régime contenant 5 % de phosphopeptide

correspondait une légère diminution de l'absorption du phosphore et une modification des excréctions urinaires de Ca et P allant dans le sens d'une hypercalciurie et d'une hypophosphaturie. Que le changement de la nature protéique

Tableau V. Paramètres osseux.

Régimes	T	PP
Densité, (g/cm ³)		
Tibia	1,19 ± 0,006	1,18 ± 0,003
Péroné	1,12 ± 0,01	1,14 ± 0,006
Moment de flexion, Nxm		
Tibia	39,8 ± 1,5	40,7 ± 2,3
Péroné	4,7 ± 0,3	5,4 ± 0,4
Contenu en minéraux des tibias		
Cendres totales, g	24,3 ± 0,9	24,2 ± 0,6
Cendres, g/100 cm ³	27,2 ± 0,7	26,2 ± 0,5
Cendres, % MS ¹	43,2 ± 3,8	41,0 ± 0,7
Ca, % MS	13,5 ± 1,2	13,4 ± 0,4
P, % MS	6,0 ± 0,7	5,8 ± 0,3
Hydroxyprolinurie (mg/24 h)	462 ± 33	437 ± 121

Aucun écart significatif; ¹MS : matière sèche osseuse (les os ayant été vidés de leur moelle).

du régime coexiste avec une augmentation de l'excrétion urinaire de Ca évoque les effets bien connus des régimes hyperprotéiques (Anonyme, 1980). Toutefois, les 2 régimes étant isoprotéiques, c'est plutôt une différence dans la nature des protéines, et en particulier les apports d'acides aminés soufrés (AAS) (Zemel *et al.*, 1981; Schuette *et al.*, 1982; Van Beresteyn & Visser, 1983), qui pourrait être en cause. Cependant, le calcul indiquant que les 2 régimes contenaient la même quantité d'AAS, il se pourrait que ceux du régime PP aient été mieux digérés que ceux du régime témoin, ce qui laisserait supposer les résultats obtenus chez le porc par Walker *et al.* (1986a et b). Ces auteurs, en comparant la rétention azotée et la digestibilité des AA des protéines issues du soja ou de la caséine, observent des valeurs supérieures, en particulier pour la méthionine, avec l'hydrolysate de caséine ou le caséinate de calcium. Toutefois, on devrait alors s'attendre à une augmentation de l'hydroxyprolinurie comme cela a été observé chez l'homme (Schuette *et al.*, 1981) et chez le rat (Van Beresteyn & Visser, 1983) recevant des apports croissants de caséine, ce qui n'était pas le cas chez les porcs du présent essai. Par ailleurs, plusieurs résultats, chez l'enfant recevant des laits de remplacement (Anonyme, 1988) mais aussi chez le très jeune porcelet (Miller *et al.*, 1965), montrent au contraire que la caséine, en comparaison avec les protéines de soja, améliore, à niveau protéique égal, la minéralisation osseuse. En revanche, chez le rat nourri avec des régimes contenant, soit des protéines de soja, soit de la caséine, la calciurie augmente parallèlement à l'augmentation de la teneur protéique de l'aliment (Van Beresteyn & Visser, 1983; Graves & Wolinsky, 1980) mais si la calciurie est toujours plus élevée avec la caséine, le contenu minéral osseux reste le même (Van Beresteyn & Visser, 1983) et ce,

quel que soit le taux protéique. Si l'on se réfère aux résultats de Hendricks *et al.* (1970) chez le très jeune porcelet, l'augmentation du taux des protéines, sous forme de soja, a un effet négatif sur la minéralisation osseuse et sur l'absorption de Ca et P, effet qu'on ne retrouve pas ici, puisque l'absorption de P est supérieure avec le régime témoin lequel contenait 22 % de soja, le régime PP n'en contenait que 14 %. Enfin, une revue critique très récente remet largement en cause les liens éventuels entre apports protéiques (nature, quantité) et pertes calciques, urinaires et osseuses (Spencer *et al.*, 1988). Au regard de l'ensemble de ces données, il ne semble pas clairement établi que l'on puisse rapporter la légère diminution de l'absorption du phosphore, ni même la plus forte calciurie, à la nature protéique différente du régime PP.

L'autre explication des différences relevées entre les effets des 2 régimes sur le métabolisme phosphocalcique pourrait provenir des apports de phosphore légèrement différents en quantité mais surtout en nature. Ainsi, les porcs témoins consommaient quotidiennement environ 0,5 g de plus que ceux du lot PP. L'écart au niveau des quantités absorbées est de 0,8 g/jour, ce qui semble se répercuter au niveau de la phosphaturie, également supérieure de 0,8 g/j à celle des porcs du lot PP. Les résultats des bilans de Ca et P pourraient indiquer que le calcium retenu ait été le facteur limitant : les quantités de Ca retenues sont identiques pour les deux groupes, ce qui expliquerait que le phosphore absorbé «en trop» par les porcs témoins soit excrété dans l'urine. Cette hyperphosphaturie coexistant avec une réduction de la calciurie s'apparente aux résultats observés chez l'homme (Spencer *et al.*, 1965; Schuette *et al.*, 1981; Zemel & Linkswiller, 1981) en particulier avec une supplémentation de la ration en phosphate acide, ce qui était

le cas avec l'utilisation du phosphate monosodique pour le régime témoin. Chez le rat également, calciurie et phosphaturie varient en sens inverse (Howe & Beacher, 1981a et b) lorsque les apports de phosphore, et donc la quantité de P absorbée, augmentent. Chez le porc, l'absorption du phosphore en valeur absolue (g/j) mais également relative (digestibilité) tend à augmenter avec les apports de phosphore (Vipperman *et al.*, 1974; Hemmer, 1982) ce qui a pour conséquence d'augmenter la phosphaturie tandis que la calciurie diminue. Enfin, chez de jeunes porcs nourris avec des apports de P et Ca variés, les excréments urinaires de Ca et P varient en sens inverse (Shenkel & Muller, 1984).

Ainsi, les différences des excréments urinaires de Ca et P entre les 2 lots T et PP seraient surtout la conséquence d'une meilleure absorption du phosphore chez les témoins. Cette absorption plus forte pourrait provenir, au moins en partie, de la nature des apports de phosphore. En effet, les proportions de phosphore végétal des 2 régimes étant comparables (de l'ordre des 2/3 de P total), la différence de nature des apports porte sur 1/3 de P minéral pour le régime témoin contre 1/3 de P lié au phosphopeptide pour l'autre régime. Le phosphate sodique utilisé, soluble, est généralement considéré comme une excellente source de P chez le porc (Guéguen, 1970; Guéguen & Rérat, 1965; Cromwell, 1985) ce qui, ajouté au fait que l'apport est légèrement supérieur, expliquerait la plus grande absorption de P chez les témoins. Le fait que le calcium soit limitant serait dû à ce que la teneur en calcium des régimes (environ 0,8 %) ait été légèrement inférieure à celle recommandée pour les porcs du même âge (0,95 à 1 %; Guéguen & Perez, 1981). Cela est une conséquence de l'ajustement de la parité des apports de Ca entre les 2 régimes, en

raison d'une richesse moindre en Ca (7 %) du phosphopeptide que celle initialement prévue (9 %) et à la volonté de conserver une proportion de Ca apportée par le phosphopeptide aussi élevée que possible dans le régime PP.

En conclusion, avec des apports P/Ca quantitativement très voisins mais qualitativement assez différents, les 2 régimes ont permis des performances comparables et surtout ont conduit à des paramètres osseux pratiquement identiques comme l'étaient les rétentions de Ca et P mesurées au cours des bilans. Les résultats ne permettent pas de penser que la nature phosphopeptidique d'une fraction importante des apports P/Ca en a amélioré l'utilisation. Cela rejoint les travaux récents portant sur l'utilisation comparée du calcium des produits lactés et de celui des autres sources d'apport, signalés dans l'introduction. Il recoupe d'autres observations obtenues récemment (Pointillart & Drueke, données non publiées) chez des rats pour lesquels, que les apports calciques soient normaux (0,6 %) ou excessifs (1,5 %), la résistance à la rupture des fémurs (et leur contenu en cendres) n'était pas influencée par la nature protéique des régimes : 30 % de caséine comparés à 30 % d'isolat de soja. A noter que les seuls effets positifs de la caséine observés *in vivo* sur la minéralisation osseuse (Hendricks *et al.*, 1970; Anonyme, 1988) l'ont été chez les sujets (porcelet, enfant) en âge de recevoir une alimentation lactée et donc habitués à ce que l'essentiel des minéraux soit sous forme de phosphocaséinate de calcium, ce qui pourrait suffire à en expliquer la meilleure utilisation. Il ne nous semble pas que la durée de l'expérience et donc la nécessité d'une adaptation soient ici en cause si l'on se réfère aux modifications des paramètres osseux observées après 6 semaines seulement chez des porcs 2 fois plus

âgés recevant 20 % de leurs apports P/Ca sous forme de yaourt (Pointillart *et al.*, 1986). Enfin, quand on met en parallèle la caséine non plus aux protéines de soja qui, au moins en excès, peuvent avoir des effets rachitigènes chez le porcelet (Miller *et al.*, 1965), mais à la fibrine, cette dernière améliore l'absorption calcique *in vitro* mais pas *in vivo*, l'utilisation de Ca et P étant alors la même pour les 2 types de protéines lors d'apport calcique normal (Wilson & Schedl, 1981). Peut-être faut-il penser, comme le suggèrent Srinivasan & Rao (1979) que les caséinophosphopeptides résistant à la trypsine ne survivent pas assez longtemps dans l'intestin pour influencer sur l'absorption calcique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. H. Roy (Atelier de préparation des aliments expérimentaux, INRA) pour son aide précieuse dans la fabrication des aliments.

RÉFÉRENCES

- Anonyme (1980) Urinary calcium and dietary protein. *Nutr. Rev.* 38, 9-10
- Anonyme (1988) Bone mineralization and growth in term infants fed soy-based or cow milk-based formula. *Nutr. Rev.* 46, 152-154
- Blake H.H. & Henning S.J. (1988) Absorption and transport of milk calcium by infant rats. *Am. J. Physiol.* 254 (*Gastrointest. Liver Physiol.* 17), G12-19
- Cromwell G.L. (1985) Bioavailability of minerals : phosphorus as a model. *Proc. Alltech. 1st Ann. Biotechnology Symp.* Lexington, Kentucky, 9 pp.
- Gerber H.W. & Jost R. (1986) Casein phosphopeptides : their effect on calcification of *in vitro* cultured embryonic rat bone. *Calcif. Tissue Int.* 38, 350-357
- Graves K.L. & Wolinsky I. (1980) Calcium and phosphorus metabolism in pregnant rats ingesting a high protein diet. *J. Nutr.* 110, 2420-2432
- Greger J.L., Krzykowski C.E., Khasen R.R. & Krashoc C.L. (1987) Mineral utilization by rats fed various commercially available calcium supplements or milk. *J. Nutr.* 117, 717-724
- Guéguen L. (1970) Les critères de qualité nutritionnelle des compléments minéraux en alimentation animale. *Bull. Soc. Sci. Hyg. Aliment.* 58, 115-129
- Guéguen L. & Perez J.M. (1981) A reevaluation of recommended dietary allowances of calcium and phosphorus for pigs. *Proc. Nutr. Soc.* 40, 273-278
- Guéguen L. & Rérat A. (1965) Contribution à l'étude de l'absorption intestinale et du mode d'excrétion du phosphore chez le Porc. *C.R. Acad. Sci. (Paris)* 260, 5112-5115
- Hemmer von H. (1982) Der Einfluß der Phosphorversorgung auf die intestinale Absorption von Phosphor bei wachsenden Schweinen. *Z. Tierphysiol., Tierernaehr Futtermittelkd.* 47, 220-230
- Hendricks D.G., Miller E.R., Ullrey D.E., Hoeffler J.A. & Luecke R.W. (1970) Effect of source and level of protein on mineral utilization by the baby pig. *J. Nutr.* 100, 235-240
- Howe J.C. & Beecher G.R. (1981a) Effect of dietary protein and phosphorus levels on calcium and phosphorus metabolism of the young fast growing rat. *J. Nutr.* 111, 708-720
- Howe J.C. & Beecher G.R. (1981b) Effect of dietary protein and phosphorus levels on calcium and phosphorus metabolism of adult rats. *Nutr. Rep. Int.* 24, 919-929
- Lee Y.S., Noguchi T. & Naito H. (1979) An enhanced intestinal absorption of calcium in the rat directly attributed to dietary casein. *Agric. Biol. Chem.* 2009-2011
- Lee Y.S., Noguchi T. & Naito H. (1980) Phosphopeptides and soluble calcium in the small intestine of rats given a casein diet. *Br. J. Nutr.* 43, 457-467
- Lee Y.S., Noguchi T. & Naito H. (1983) Intestinal absorption of calcium in rats given

- diets containing casein or aminoacid mixture : the role of casein phosphopeptides. *Br. J. Nutr.* 49, 67-76
- Miller E.R., Ullrey D.E., Zutaut C.L., Hoefler J.A. & Luecke R.L. (1965) Comparisons of casein and soy proteins upon mineral balance and vitamin D2 requirement of the baby pig. *J. Nutr.* 85, 347-354
- Mykkanen H.M. & Wasserman R.H. (1980) Enhanced absorption of calcium by casein phosphopeptides in rachitic and normal chicks. *J. Nutr.* 110, 2141-2148
- Naito H. & Suzuki H. (1974) Further evidence for the formation *in vivo* of phosphopeptide in the intestinal lumen from dietary β -casein. *Agric. Biol. Chem.* 38, 1543-1545
- Pointillart A., Cayron B. & Guéguen L. (1986) Utilisation du calcium et du phosphore et minéralisation osseuse chez le porc consommant du yaourt. *Sci. Aliments* 6, 15-30
- Recker R.R., Bammi A., Barger-Lux M.J. & Heaney R.P. (1988) Calcium absorbability from milk products, an imitation milk, and calcium carbonate. *Am. J. Clin. Nutr.* 47, 93-95
- Reeves R.E., Latour N.G. (1958) Calcium phosphate sequestering phosphopeptides from casein. *Science* 128, 472
- Sato R., Noguchi T. & Naito H. (1983) The necessity for the phosphate portion of casein molecules to enhance Ca absorption from the small intestine. *Agric. Biol. Chem.* 47, 2415-2417
- Sato R., Noguchi T. & Naito H. (1986) Casein phosphopeptide enhances calcium absorption from the ligated segment of rat small intestine. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 32, 67-76
- Shenkel von H. & Muller M. (1984) Stoffwechseluntersuchungen an Ferkeln nach unterschiedlicher Calcium- und Phosphorversorgung. *Landwirtsch. Forsch.* 37, 117-126
- Schuetz S.A., Hegsted M., Zemel M.B. & Linkswiller H.M. (1981) Renal acid, urinary cyclic AMP, and hydroxyproline excretion as affected by level of protein, sulfur aminoacid, and phosphorus intake. *J. Nutr.* 111, 2106-2116
- Sheikh M.S., Santa Ana C.A., Nicar M.J., Schiller L.R. & Fordtran J.S. (1987) Gastrointestinal absorption of calcium from milk and calcium salts. *N. Engl. J. Med.* 317, 532-536
- Smith K.T., Heaney R.P., Flora L. & Hinders S.M. (1987) Calcium absorption from a new calcium delivery system (CCM). *Calcif. Tissue Int.* 41, 351-352
- Spencer H., Kramer L. & Osis D. (1988) Do protein and phosphorus cause calcium loss? *J. Nutr.* 118, 657-660
- Spencer H., Menczel J., Lewin I. & Samachson J. (1965) Effect of high phosphorus intake on calcium and phosphorus metabolism in man. *J. Nutr.* 86, 125-132
- Srinivasan M.R. & Rao M.V.L. (1979) Availability of calcium and phosphate in calcium caseinate. *J. Food Sci. Technol. (India)* 16, 95-99
- Van Beresteyn E.C.H. & Visser R.M. (1983) Invloed van soort hoeveelheid eiwit in de voeding op de botontkalking. *Zuivelzicht* 12, 279-281
- Vipperman P.E., Peo E.R. & Cunningham P.J. (1974) Effect of dietary calcium and phosphorus level upon calcium, phosphorus and nitrogen balance in swine. *J. Anim. Sci.* 38, 758-765
- Walker W.R., Maxwell C.V., Owens F.N. & Buchanan D.S. (1986a) Milk versus soybean protein sources for pigs. I. Effects on performance and digestibility. *J. Anim. Sci.* 63, 505-512
- Walker W.R., Maxwell C.V., Owens F.N. & Buchanan D.S. (1986b) Milk versus soybean protein sources for pigs. II. Effects on amino acid availability. *J. Anim. Sci.* 63, 513-524
- Wilson H.D. & Schedl H.P. (1981) Effects of casein and fibrin on calcium absorption and calcium homeostasis in the rat. *Dig. Dis. Sci.* 26, 237-242
- Wong N.P. & Lacroix D.E. (1980) Biological availability of calcium in dairy products. *Nutr. Rep. Int.* 21, 673-680
- Zemel M.B. & Linkswiller H.M. (1981) Calcium metabolism in the young adult male as affected by level and form of phosphorus intake and level of calcium intake. *J. Nutr.* 111, 35-324
- Zemel M.B., Schuetz S.A., Hegsted M., Linkswiller H.M., (1981) Role of the sulfur-containing aminoacids in protein-induced hypercalciuria in Men. *J. Nutr.* 111, 545-552