

A 8510

UTILISATION DIGESTIVE DU PHOSPHORE PHYTIQUE CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

A. POINTILLART, Marie-Elise JAY (*), Nicole FONTAINE (**)

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

(*) Stagiaire, D.E.A. de la Faculté des Sciences Biologiques de Rennes

(**) Chercheur détaché du C.N.R.S.

INTRODUCTION

Deux tiers environ du phosphore consommé par les porcs proviennent des céréales et des tourteaux, lesquels renferment au moins 2/3 de phosphore sous forme de phytates (BAGHERI *et al.*, 1982). La valeur biologique du phosphore végétal est très variable. GUEGUEN et PEREZ (1981) ont adopté un CUDr moyen de 35%. Cependant, l'écart entre le blé et le maïs, par exemple, peut être très important et CROMWELL (1980) l'attribue à l'activité phytasique (enzyme de type phosphatase, hydrolysant les phytates) très élevée du blé. Ceci est confirmé, indirectement, par un travail récent de GUEGUEN *et al.*, (1981) qui indiquent que l'addition de 20% de son de blé grossier à un régime maïs-soja (sans addition de P minéral) fait passer, chez le porc, le CUDa de 36 à 48%, ce qui peut s'expliquer par la richesse en phytase du son. A l'exception du travail de MOSER *et al.*, (1982) sur les fibres alimentaires, l'étude simultanée de la digestibilité du phosphore et de l'activité des phytases de la muqueuse intestinale n'a pas été faite chez le porc. C'est pourquoi a été réalisée une série d'expériences sur l'influence de la teneur des régimes en phytates, et de leurs origines, chez le porc en croissance dont l'un des objectifs était d'examiner les capacités d'adaptation de cette espèce à un apport de phosphore exclusivement d'origine végétale. Par ailleurs, la phosphatase alcaline pouvant être impliquée dans l'hydrolyse des phytates (DAVIES et FLETT, 1978), les variations d'activité de cette enzyme ont été étudiées, parallèlement à celle de la phytase, à différents niveaux de l'intestin, du duodénum au côlon. Enfin, ces enzymes étant sensibles à l'apport de vitamine D, celui-ci a également été pris en compte.

PROTOCOLES

Trois expériences ont été réalisées successivement (tableau 1), la première, « PHY.1. », pour examiner l'influence respective de la phytase endogène (intestin) et exogène (aliments) sur la digestibilité du phosphore, la deuxième, « PHY.2. », pour observer l'effet éventuel du niveau de P. phytique sur les activités phosphatasiques de la muqueuse intestinale et la troisième, « PHY.3. », ceux de la supplémentation en vitamine D sur l'activité enzymatique intestinale.

Pour « PHY.1. », deux sources différentes de phytates ont été comparées, le maïs et le blé, avec des régimes ayant la même teneur en P total et en P phytique, sans supplément de P minéral ni de vitamine D. Ces régimes (M et B) (90% de céréales) ne diffèrent que par leur activité phytasique, l'un (B) ayant une activité 8 fois supérieure à l'autre (M). Tous deux sont carencés en phosphore (0,3% environ), afin de favoriser une éventuelle stimulation des capacités intestinales d'absorption.

Avec « PHY.2. », l'activité phytasique alimentaire est négligeable, mais le régime C (« colza ») apporte 1,5 fois plus de P total et 1,8 fois plus de P phytique que le régime S (« soja »), de la cellulose étant rajoutée à ce dernier pour obtenir un niveau de « fibres » comparable au précédent.

TABLEAU 1
RÉGIMES ET DURÉE DES EXPÉRIENCES

	PHY.1.		PHY.2.		PHY.3.	
	M (Farine de sang) maïs (88)	B blé (89)	C Colza (33) maïs (61)	S Soja (22) (69)	OD Colza + Soja (20 + 20) avoine décortiquée (56)	+ D
Phosphore, %	0,33	0,36	0,54	0,37	0,58	0,58
P. Phytique, %	0,22	0,24	0,44	0,25	0,45	0,45
Vit. D ajoutée ⁽¹⁾	0	0	0	0	0	1000
Calcium, %	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Phytase ⁽²⁾	20	160	nd	nd	nd	nd
Durée (sem.)	6	6	7	7	5	5
Nombre de porcs	5	5	6	6	7	7
poids initial (kg)	22,2 ± 0,5		34 ± 1		23,5 ± 0,5	

(1) en U.I. de D₃/kg d'aliment,

(2) en m U.I./g, 1 ul = 1 μmoie de P libérée/mn

n.d. = non détectable.

Pour « PHY.3. », des porcelets pris au sevrage sont préalablement carencés en vitamine D (mise à l'obscurité, suppression de l'apport de vitamine D) et ensuite reçoivent le même aliment, pour la moitié d'entre eux supplémenté en vitamine D (+ D) et pour l'autre pas (OD). La teneur en P de cet aliment peut être considérée comme subnormale : 0,6% contre 0,7% recommandé par GUEGUEN et PEREZ (1981). Toutefois, la totalité du phosphore est fournie par les matières premières végétales, afin, comme pour « PHY.1. » et « PHY.2. », d'en fournir aux animaux le maximum sous forme phytique. Les résultats de la première expérience ont été publiés en détail (POINTILLART *et al.*, 1984), mais il a semblé intéressant de les reprendre et de les présenter en commun avec ceux des deux autres dans le but d'esquisser une synthèse sur la phytase et les phytates chez le porc.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ils sont résumés schématiquement dans le tableau 1. A l'intérieur de chaque essai, les apports en énergie, protéines, fibres, vitamines (D exceptée) et oligo-éléments peuvent être considérés comme équivalents d'un régime à l'autre. Les taux de calcium utilisés (0,7% et 0,6%) sont sensiblement inférieurs aux recommandations (0,95%), afin de tenir compte du niveau bas des apports de phosphore. Des bilans sont réalisés à partir de la 3^{ème} ou 4^{ème} semaine de distribution du régime expérimental, sur une période de 10 jours, avec 4 animaux par lot isolés en cage. Pour l'essai PHY.2., deux bilans : l'un en début (3^{ème} et 4^{ème} semaine) et l'autre en fin d'expérience (5^{ème} et 6^{ème} semaine), permettent d'observer l'effet du temps. Pour PHY.1., bien que les bilans aient été faits en deux fois, les valeurs ont été regroupées, car il n'y avait pas d'effet significatif du temps.

Les mesures enzymatiques (phosphatase alcaline et phytase) effectuées post-mortem sur les divers segments de l'intestin (duodénum, jéjunum, iléon, caecum, colon et rectum), l'analyse de la composition minérale des os (péroné, tibia) et le dosage de l'hydroxyproline dans les urines récoltées au cours des bilans, ont déjà été décrits (POINTILLART *et al.*, 1984). Des radiographies des tibias ont été prises pour les trois essais.

RÉSULTATS COMMENTÉS

I. Absorption du phosphore

PHY.1. — Le CUDa du régime « blé », à apport sensiblement égal de phosphore, est très supérieur ($\times 1,6$) à celui du maïs (tableau 2), tandis que l'activité phytasique intestinale (tableau 3) est inchangée. Ces deux résultats suggèrent que l'activité phytasique supérieure du blé (tableau 1) est vraisemblablement à l'origine de la digestibilité supérieure du phosphore de cette céréale, l'activité endogène (intestinale) pouvant être considérée comme négligeable.

PHY.2. — Au cours du premier bilan, l'absorption de P (en g/j) est plus élevée avec le régime « colza », le plus riche en P; ensuite, elle diminue considérablement pour ce lot (tableau 2), alors qu'elle se maintient pour le lot « soja ». Ainsi, en fin d'expérience, le CUDa de P du régime « soja » a tendance ($0,05 < P < 0,10$) à être supérieur à celui du « colza ». Il existe des corrélations élevées ($r=0,99$) entre les excréments fécaux de calcium et de phosphore (JAY, 1983) qui se maintiennent dans le temps pour le régime C, alors qu'elle diffèrent, pour le régime S, d'un bilan à l'autre. Ceci suggère d'une part, la formation de phytates de calcium et, d'autre part, que celle-ci augmente au cours du temps avec le régime « colza », le plus riche en phosphore phytique. L'activité phytasique intestinale ne s'adapte pas aux apports différents de P phytique, puisqu'elle ne varie pas significativement d'un lot à l'autre (tableau 3).

En résumé, initialement, plus le régime contient de phosphore, plus celui-ci est absorbé; ensuite il apparaît un effet négatif sur la digestibilité du phosphore de ce même régime qui est aussi celui qui apporte le plus de phytates.

PHY.3. — La supplémentation en vitamine D augmente fortement l'absorption du phosphore et sa digestibilité, sans qu'il y ait stimulation des phosphatases, comparables pour les deux lots (tableau 3).

II. Rétention du phosphore

Quels que soient les essais, les phosphaturies sont négligeables (≤ 70 mg/j, tableau 2) et pratiquement la totalité du phosphore absorbé est retenue (90 à 99%); ceci traduit l'insuffisance

TABEAU 2
BILANS DU PHOSPHORE

Essai	sem.	Lot	ingéré g/j	absorbé g/j	CUDa %	urinaire(1) mg/j
PHY.1	3-5	maïs	3,4	1	29	19
		blé	3,8	1,8**	46**	20
PHY.2.	3-4	soja	5,2	1 ^b	22 ^{ab}	28 ^b
		colza	6,8	2,3 ^{ab}	34 ^a	29 ^b
	5-6	soja	5,9	1,5 ^{ab}	26 ^a	22 ^b
		colza	7,7	1 ^b	13 ^b	70 ^a
PHY.3.	4-5	OD	5,1	1,3	25	71
		+ D	5,9	2,4**	41**	49

** Écart significatif, $P < 0,01$; a, b : écart significatif entre les moyennes ne portant pas les mêmes lettres ($P < 0,05$). Comparaisons intra-essai.

(1) l'urinaire étant négligeable, les chiffres pour la rétention (g/j ou %) sont les mêmes que pour l'absorption.

TABEAU 3
ACTIVITÉS PHOSPHATASIQUES DE LA MUQUEUSE INTESTINALE (en m UI/mg de protéines)

PHYTASE (1)	PHY.1.		PHY.2.		PHY.3.	
	M	B	C	S	OD	+ D
	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1
PHOSPHATASE ALCALINE (2)	duodénum		jéjunum		iléon	
PHY.1. {	M	100 ± 10	320 ± 40		200 ± 30	
	B	50 ± 10*	230 ± 40		140 ± 30	
PHY.2. {	C	90 ± 10	490 ± 60		210 ± 60	
	S	120 ± 30	340 ± 50		250 ± 50	
PHY.3. {	OD	70 ± 15	240 ± 30		100 ± 20	
	+ D	90 ± 25	250 ± 40		130 ± 20	

(1) PHY.1. et PHY.3. : moyenne duodénum + jéjunum + iléon + gros intestin, — PHY.2. : intestin grêle

(2) L'activité dans le gros intestin, de 10 à 35 mUI, est négligeable comparée à l'intestin grêle.

* Seul écart significatif ($P < 0,05$) du au régime.

générale de l'apport de P. Les phosphaturies étant extrêmement faibles, toutes les différences observées au niveau de l'absorption se retrouvent au niveau de la rétention. Ainsi, le coefficient de rétention pour le lot « colza » chute de 33 à 12% entre le début et la fin de l'essai PHY.2. ($P < 0,01$). Les hypophosphaturies sont identiques dans l'essai PHY.1. Dans l'essai PHY.2., au cours du 2^{ème} bilan, la phosphaturie est significativement plus importante avec le régime « colza »; elle coexiste avec une calciurie plus faible (tableau 4), ce qui pourrait provenir d'une réaction parathyroïdienne. En effet, une corrélation négative étroite ($r = -0,96$) entre les concentrations plasmatiques de Ca et de parathormone est observée, à l'abattage, pour ce même lot (JAY, 1983) et cette hormone est hyperphosphaturiante. Dans l'essai PHY.3., l'addition de vitamine D augmente la rétention de P.

III. Activités phosphatasiques

1. Phosphatase alcaline

À examiner l'ensemble des résultats concernant l'intestin grêle (les valeurs dans le gros intestin ont été mesurées, mais sont négligeables, tableau 3), il est difficile de conclure que cette enzyme répond aux apports variés de phosphore (total ou phytique), ce que laissait pourtant présager l'essai PHY.1. En effet, dans celui-ci, l'activité a tendance à être plus élevée avec le régime « maïs », lequel s'est révélé être le plus hypophosphatémiant (POINTILLART *et al.*, 1984), l'écart étant significatif au niveau duodéal (activité doublée, comparée au lot « blé »). La supplémentation en vitamine D n'a aucun effet, *in vivo*, sur l'activité enzymatique de la muqueuse de l'intestin grêle du porc (tableau 3), alors qu'il a été montré un effet « *in vitro* » sur celle du jéjunum chez le poulet (PETERLIK et WASSERMAN, 1980). Dans l'essai PHY.2., le régime S ayant été plus hypophostémiant que le C (JAY, 1983), l'absence d'écart significatif entre les activités phosphatasiques des deux lots ne confirme pas la tendance apparue dans l'essai PHY.1. Enfin, les valeurs observées d'une expérience à l'autre semblent être du même ordre de grandeur et, quel que soit l'essai considéré, les plus élevées se situent au niveau jéjunal et les plus basses au niveau duodéal. En résumé, les variations enregistrées semblent aléatoires et indépendantes des apports de P et de vitamine D.

2. Phytase

La teneur en phytate (et en phytase) des régimes n'a aucune influence sur l'activité phytasique intestinale et ceci vaut pour tous les segments étudiés. Dans les essais PHY.1. et PHY.2., les régimes étant dépourvus de supplémentation vitaminique D, on pouvait supposer que cette absence de réaction enzymatique relevait de la carence en vit. D. Mais, l'expérience PHY.3. démontre clairement que, même en présence d'une quantité importante de vit. D₃ (1 000 ui/kg d'aliment) et face à un régime où le phosphore est à 80% sous forme phytique, l'activité phytasique de la muqueuse intestinale (tous les segments ont été testés) est comparable à celle des autres essais.

L'activité phytasique de la lumière intestinale est également négligeable (0 à 2 mui/mg, valeurs provenant d'autres essais) ce qui écarte l'hypothèse d'une hydrolyse des phytates par la flore bactérienne.

IV. Métabolisme du calcium

PHY.1. – L'absorption et le CUDa du calcium ne diffèrent pas d'un lot à l'autre et ne sont pas modifiés par la carence en phosphore, les CUDa étant d'environ 50%, valeur normale (POINTILLART et FONTAINE, 1983). Par contre, les rétentions sont très faibles comme en témoigne la présence d'hypercalciuries très importantes, mais comparables, pour les deux lots : 10 à 20% du

calcium ingéré (soit 20 à 35% du calcium absorbé) sont excrétés dans les urines, ce qui est tout à fait anormal (cf. POINTILLART et FONTAINE, 1983). Ceci traduit une mauvaise fixation du calcium au niveau de l'os, conséquence de la déficience en P.

TABLEAU 4
BILANS DU CALCIUM

Régimes et lots	Ingéré g/j	absorbé g/j	CUDa %	Urinaire g/j	Retenu g/j	Rétention %		
PHY.1. maïs blé	7,1	3,5	49	1,2	2,3	32		
	7	3,5	50	0,8	2,8	39		
PHY.2. Soja Colza	I	8,5	3,4 ^a	40 ^a	1,5 ^a	1,9 ^a	23 ^{ab}	
		II	9,1	2,9 ^a	30 ^b	1,4 ^a	1,5 ^{ab}	16
	II	I	7,2	3,1 ^a	42 ^a	1,0 ^{ab}	2,1 ^a	29 ^a
		II	8,3	1,4 ^b	17 ^c	0,6 ^b	0,8 ^b	9 ^c
PHY.3. OD + D	5,7	0,8	14	0,4	0,5	9		
	6,7	3,7 ^{**}	55 ^{**}	0,60	3,1 ^{**}	46 ^{**}		

PHY.1. : aucun écart significatif

PHY.2. : I = bilan 3-4 sem. II = bilan 5-6 sem. a, b, c, = les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas différentes (p < 0,05).

PHY.3. : ** P < 0,01

PHY.2. – Au cours du premier bilan, l'absorption calcique n'est pas modifiée par la nature du régime (tableau 4). Ensuite, elle diminue considérablement, au cours du 2^{ème} bilan, avec le régime « colza » (chute de plus de 50% de sa valeur initiale), jusqu'à devenir inférieure à celle du lot « soja ». La digestibilité (CUDa) diminue significativement, au cours de l'expérience, pour les deux régimes (tableau 4), le phénomène étant accentué avec le régime C, pour lequel l'excrétion fécale de Ca est considérable : plus de 80% du calcium ingéré ! Ces résultats sont à relier à la fois à la formation de phytates de calcium (cf. § I), indigestibles, et à l'apparition d'une carence en vitamine D comme le démontre la chute de la concentration plasmatique de 25 hydroxyvitamine D₃, en fin d'expérience, pour l'ensemble des animaux (valeurs initiales pour C et S : 7 ± 1 ng/ml, à l'abattage 1 ± 1 ng/ml, P < 0,01).

Quelle que soit la période, les calciuries sont très élevées, comme pour l'essai PHY.1., et les rétentions extrêmement faibles (souvent moins de 2 g/jour pour un ingéré de plus de 8 g). Ces dernières diminuent au cours du temps, le phénomène s'aggravant pour le régime C (écart de 1 à 3, P < 0,01, tableau 4), le plus riche en phytates. Cette chute de la rétention calcique provient de celle du phosphore, comme le laisse supposer la corrélation étroite entre ces deux paramètres (r = 0,93; JAY, 1983), la carence en vitamine D exacerbant le phénomène.

PHY.3. – La supplémentation en vitamine D améliore fortement l'absorption (x5 en g/j, CUDa x 4) et la rétention calciques (mêmes proportions) sans changer significativement la calciurie (tableau 4). À noter que les effets sur le métabolisme calcique sont très nettement plus marqués que ceux se rapportant à celui du phosphore (absorption x 2 seulement, tableau 2).

V. Aspects osseux

1. Radiographies et composition minérale des os

PHY.1. – Ni les clichés radiographiques, ni la composition minérale moyenne des os (P% os sec : M, $7,8 \pm 0,4$; B : $8,1 \pm 0,4$; Ca% : M $19,7 \pm 1$, B $19,7 \pm 1$) ne sont affectés par la nature des phytates ingérés. La rétention de P, supérieure avec le régime « blé », n'apparaît pas au niveau de l'os. Par contre, les valeurs observées au niveau de l'os spongieux (POINTILLART *et al.*, 1984) reflètent une minéralisation insuffisante, quel que soit le régime.

PHY.2. – L'examen radiographique fait clairement apparaître une opacité plus grande des tibias du lot C. Ceci est partiellement confirmé par les analyses minérales; les teneurs en Ca et P de l'os spongieux (épiphyses et métaphyses) étant plus élevées pour les tibias de ce même lot. Par contre, celles de l'os compact (péroné entier, diaphyses tibiales) ne sont pas modifiées par le niveau de P différent des deux régimes (tableau 5).

TABLEAU 5
COMPOSITION MINÉRALE DES OS (% OS SEC)

	PHY.2.		PHY.3.	
	S	C	OD	+ D
PERONÉ ENTIER				
Ca	18,9	19,4	18,8	18,7
P	8,3	8,6	7,6	8,4
TIBIAS :				
			diaphyses	
Ca	25,1	25	21,2	21,4
P	9,6	9,9	7,9	7,9
			épiphyses	
Ca	13,5	16,2**	12,9	12,7
P	5,2	6,3**	5,1	5,1
			métaphyses⁽¹⁾	
Ca	11,9	14,4**	14,4	17,8**
P	5,9	7,5**	6	6,2

** écart significatif, $P < 0,01$

(1) chiffres en % M.S. dégraissée pour PHY.3.

PHY.3. – L'écart d'opacité entre les tibias du lot + D et du lot carencé est encore plus évident que, dans l'essai PHY.2., celui entre C et S. Par contre, seule la teneur en calcium, rapportée à la matière sèche dégraissée, des métaphyses tibiales (tableau 5), indique une différence importante en faveur du lot + D. Toutes les autres valeurs sont comparables d'un régime à l'autre (y compris celles concernant l'os métaphysaire non dégraissé).

2. Hydroxyprolinurie

Elle est inchangée par la nature des phytates dans le 1^{er} essai (environ 100 mg/jour). Dans le 2^{ème} essai, elle est transitoirement (1^{er} bilan) plus élevée avec le régime « soja » (300 mg/j), l'ensemble des valeurs étant nettement supérieures (150 à 300 mg/j) à celles de l'essai PHY.1. Dans le dernier essai, les animaux carencés excrètent davantage d'hydroxyproline que ceux supplémentés en vitamine D (OD : 340 mg/j, + D : 240 mg/j, $P < 0,05$). Dans les essais PHY.2. et 3., les effets conjugués de la carence en phosphore et en vitamine D conduisent à une hyper-résorption (ostéolyse augmentée), ce qui n'est pas le cas dans l'essai PHY.1. où prédomine la carence en phosphore seule, la concentration plasmatique de 25-hydroxyvitamine D (témoin de l'état de réplétion vitaminique) n'ayant pas diminué (POINTILLART, *et al.*, 1984).

DISCUSSION

1. Digestibilité du phosphore organique

Le phosphore organique des céréales et des tourteaux, le blé, mis à part, est très mal absorbé (écart extrême : 6 à 45%). Le CUDa moyen obtenu (30%) correspond probablement au CUDr moyen de 35% adopté par GUEGUEN et PEREZ (1981). Ces essais montrent également que face à des sources de phosphore exclusivement végétales, en situation d'insuffisance d'apport de P, il n'y a pas de stimulation des capacités d'absorption de cet élément, chez le porc, contrairement au rat (MOORE et VEUM, 1983). La digestibilité plus grande du phosphore du blé, signalée par plusieurs auteurs (CROMWELL, 1980; NELSON, 1980) provient de la richesse de cette céréale en phytase, laquelle pourrait agir au niveau gastrique (MOORE et TYLER, 1955). Vraisemblablement, pour les mêmes raisons, SAUVEUR (1984) observe une disponibilité élevée du P du triticale chez les volailles.

2. Phosphatases

L'absence d'adaptation des activités enzymatiques en regard d'apports insuffisants en phosphore, chez le porc, confirme des résultats très récents obtenus chez le rat (MOORE et VEUM), mais contredit les hypothèses avancées par plusieurs auteurs (BIRGE et AVIOLI, 1981; KEMPSON *et al.*, 1979) sur l'implication de la phosphatase alcaline dans le transport intestinal des phosphates. Aussi, dans le dernier essai, la supplémentation en vitamine D permet une absorption presque deux fois plus élevée de P, sans modification des activités phosphatasiques. Par quel mécanisme la vitamine D a-t-elle stimulé l'absorption de P et donc du phosphore phytique (80% dans l'essai \pm D) ? Pourquoi la phosphatase alcaline intestinale, enzyme vitamine D-sensible (MOTZOK *et al.*, 1971; PETERLIK et WASSERMAN, 1980), n'a-t-elle pas répondu à l'addition de 1000 ui de D₃/kg ? Ces questions, par leurs conséquences pratiques et théoriques, appellent de nouvelles recherches.

3. Aspects osseux

Dans les essais PHY.1. et PHY.2., analyse minérale et radiographie des os permettent les mêmes conclusions. Par contre, pour PHY.3., les radiographies révèlent des écarts importants entre les os des carencés et des témoins, ce qui n'est pas le cas de l'analyse minérale (un seul résultat significatif, tab. 5). Il faut remarquer que la modification de la composition minérale des os n'apparaît significativement que sur l'os de type médullaire (spongieux), jamais sur l'os haversien (compact) ni sur l'os entier. Ces différentes constatations en rejoignent d'autres, antérieures, (POINTILLART, 1980; POINTILLART et FONTAINE, 1983) et confirme le peu de fiabilité de la composition minérale des os comme critère de diagnostic des carences en Ca, P et vitamine D. Enfin, le contenu en minéraux varie énormément avec la localisation de l'échantillon dans l'os, dont dépendent les proportions d'os compact et d'os spongieux de minéralisation très différente. Dans l'essai PHY.2., par exemple, la déminéralisation des tibias du lot S était plus grave dans l'épiphyse proximale que distale ($34 \pm 1\%$ vs $42 \pm 1\%$, $P < 0,01$, cendres % os sec) et la teneur en cendres variait du simple au double suivant le type d'échantillon (de 32% métaphyse à 65% diaphyse). Aussi est-il préférable de confronter les paramètres osseux aux autres données relatives au métabolisme phosphocalcique.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats rapportés ci-dessus ne remettent nullement en cause les recommandations de GUEGUEN et PEREZ (1981) et semblent confirmer la justesse du choix du CUDr de 0,35 pour le phosphore organique. Le meilleur résultat obtenu avec le blé laisse entrevoir qu'il serait possible, en augmentant l'activité phytasique des aliments, de valoriser davantage le phosphore d'origine végétale de la ration. Les résultats obtenus chez les volailles avec le triticale (SAUVEUR, 1984), céréale à haute activité phytasique, plaident en ce sens. Enfin, chez le rat (MOORE et VEUM, 1983a), et chez le poulet (NELSON *et al.*, 1971), l'addition de phytase améliore la digestibilité du P phytique, ce qui n'est pas le cas chez le porc (CHAPPLE *et al.*, 1979; CROMWELL *et al.*, 1978). Actuellement, nous étudions, dans notre laboratoire, la phytase des principaux aliments pour porcs. Ces recherches devraient permettre de savoir s'il est souhaitable ou non de mettre au point une méthode destinée à accroître l'activité phytasique de l'aliment. Ceci permettrait peut-être d'économiser du phosphore minéral et donc de réduire le coût des aliments. Par ailleurs, les conditions expérimentales qui ont permis la réalisation des essais rapportés ici, impliquaient de fournir aux animaux le maximum de phosphore sous forme phytique; il reste à savoir si l'utilisation de celui-ci est modifiée par l'incorporation, classique en complémentarité minérale, de phosphore inorganique.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la collaboration de Pierrette CAMUS, Bernard CAYRON et Colette COLIN. Nous remercions Agnès BOURDEAU (C.H.U. Necker) pour les radiographies tibiales.

BIBLIOGRAPHIE

- BAGHERI S., FONTAINE N., POINTILLART A., GUEGUEN L., 1982. in : « Physiologie digestive chez le porc ». Ed. INRA (Les colloques n° 12), pp. 247-260.
- BIRGE S., AVIOLI R., 1981. *Am. J. Physiol.*, **3**, E384-E390.
- CHAPPLE R., YEN J., VEUM T., 1979. *J. Anim. Sci. (Suppl.)*, **49**, 98.
- CROMWELL G., 1980. *Feedstuffs*, **52**, 38-42.
- CROMWELL G., STAHLY T., OVERFIELD J., 1978. *J. Anim. Sci.*, **47** (Suppl. 1), 78.
- DAVIES N., FLETT A., 1978. *Br. J. Nutr.*, **39**, 307-316.
- GUEGUEN L., BAGHERI S., RERAT A., 1981. XIIth Int. Congress Nutr. San Diego, USA Abs, 268.
- GUEGUEN L., PEREZ J.M., 1981. *Proc. Nutr. Soc.*, **40**, 273-278.
- JAY Marie Elise, 1983. Mémoire D.E.A., pp. 38 (Station de Recherches de Nutrition, CNRZ, 78350 Jouy-en-Josas).
- KEMPSON S., KIM J., NORTHROP T., KNOX F., HOUSA T., 1979. *Am. J. Physiol.*, **237**, E465-E473.
- MOORE J., TYLER C., 1955. *Brit. J. Nutr.*, **9**, 63-83.
- MOORE R., VEUM T., 1983a. *Nutr. Rep. Intern.*, **27**, 1267-1275.
- MOORE R., VEUM T., 1983b. *Brit. J. Nutr.*, **49**, 145-152.
- MOSER R., PEO E., MOSER B., LEWIS A., 1982. *J. Anim. Sci.*, **54**, 800-805.
- MOTZOK I., RITCEY G., DAVIES M., 1971. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, **49**, 338-344.
- NELSON T., 1980. *Proc. Florida Nutr. Conf.*, 59-84.
- NELSON T., SHEIH T., WODZINSKI R., VARE J., 1971. *J. Nutr.*, **101**, 1289-1293.

- PETERLIK M., WASSERMAN R., 1980. *Horm. Metab. Res.*, **12**, 216-219.
- POINTILLART A., 1980. *Jour. Rech. porc.*, **12**, 335-344.
- POINTILLART A., FONTAINE N., 1983. *J. Rech. porc.*, **15**, 375-384.
- POINTILLART A., FONTAINE N., THOMASSET M., 1984. *Nutr. Rep. Intern.*, **29**, 473-483.
- SAUVEUR B., 1984. *Nutr. Rep. Intern.*, **29**, 911-919.