

A 8311

LE MÉTABOLISME DU MAGNÉSIUM CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

A. POINTILLART, Michèle ESTABLIER (*), Nicole FONTAINE (**), Colette COLIN

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

(*) Stagiaire 1981-1982 de l'École Nationale Supérieure féminine d'Agriculture de Rennes

(**) Chercheur détaché du C.N.R.S.

INTRODUCTION

La carence en magnésium a été réalisée expérimentalement chez le très jeune porc, de quelques semaines, à l'aide de régimes semi-synthétiques contenant soit de la caséine (MILLER *et al.*, 1965 a ; BARTLEY *et al.*, 1961) soit de la fibrine ou des protéines isolées de soja (MAYO *et al.*, 1959). Ces travaux ont permis d'estimer le besoin du très jeune porc (3 à 9 semaines) à 400 ppm de Mg. Récemment, NUORANNE (1979) a suggéré que la supplémentation systématique en magnésium pourrait avoir des conséquences bénéfiques pour la santé du porc. Cependant, les conséquences de la surcharge en Mg n'ont pas été étudiées jusqu'ici dans cette espèce. En effet, la teneur la plus élevée (825 ppm) employée par l'équipe de MILLER (1965 b) reste très inférieure à celle des apports courants avec les régimes « céréales-tourteaux », souvent supérieure à 2 g de Mg/kg d'aliment sec. Aussi, nous avons entrepris, depuis plusieurs années, une étude systématique, chez le porc après le sevrage, du métabolisme du magnésium à travers diverses situations expérimentales telles que la carence ou la surcharge en Mg mais aussi l'apport élevé ou insuffisant en Ca, P, la carence en vitamine D. Nous avons regroupé ci-après une première série de résultats concernant les variations de l'absorption et de la rétention du magnésium, de la magnésémie, de la magnésiurie et du magnésium osseux.

Enfin, dans plusieurs espèces, la surcharge en magnésium est connue, et ce depuis longtemps (O'DELL *et al.*, 1957) pour diminuer l'absorption du phosphore ce qui n'a pas été étudié chez le porc. C'est pourquoi, nous présentons également les premières données se rapportant à l'interaction Mg-P chez le porc en croissance.

ANIMAUX ET EXPÉRIENCES

Les tableaux 1a et 1b résument l'essentiel des conditions expérimentales qu'il n'est pas possible, ici, de décrire en détail.

L'ensemble des travaux regroupe 21 lots de jeunes porcs Large-White, de 30 à 200 jours, de 15 à 60 kg de poids, répartis en 12 essais différents avec un total d'environ 130 porcs.

Les bilans ont été effectués sur un ensemble de 70 porcs en 7 essais différents suivants (tableau 1a) :

- N : régime normal,
- OCa1 : carencé en calcium,
- HP : enrichi en phosphore,

TABLEAU 1a
MINÉRAUX DU RÉGIME (% MS) AGE A L'ABATTAGE (A) ET DURÉE DE L'ESSAI POUR LES ÉTUDES DE BILAN

Essai Lot	N	HP	OCa1	Mg-P		OMg		±Mg		-P	
				+P	+Mg	N	N	N	+Mg	N	M
A, jours	120	120	130	150	130 à 150	180-200	110-130				
Nb. porcs	4	4	4	5	6	6	6				
Durée, sem.		7	6	9	6 à 8	9 à 10	4 à 5				
Mg	0,18	0,24	0,17	0,53	0,17	70 ppm	0,11	0,6	40 ppm		
Ca	0,9	0,8	0,12	1	1,1	1,2	1	0,9	0,9		
P	0,8	1,15	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6		
Régimes	céréales (maïs, blé, orge) + tourteau de soja				caséine-amidon				90 % maïs ou blé		

TABLEAU 1b
MINÉRAUX DU RÉGIME (% MS), AGE A L'ABATTAGE (A) ET DURÉE DE L'ESSAI
POUR LES ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES DU PLASMA OU DE L'OS (MÉTATARSIEN)

Essai Lot	Témoins		OCa2	+Mg		PTX	OD	
	1	2		1	2		1	2
A, jours	60	90	75	90 - 110	130	60	90	
Nb. porcs	4	8	8 à 20*	3	5	6	6	
Durée, sem.			6	3	4	4	8	
Mg	0,2	0,2	0,17	0,6	0,2	0,16	0,18	
Ca	0,5	0,7	0,12	1	0,7	1	1,2	
P	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,8	0,9	
Régime	céréales + tourteau de soja				caséine ou levure d'alcanes + amidon			

* 8 pour les os, 20 pour les plasmas.

- Mg-P : interaction magnésium-phosphore, comparaison d'un régime riche en P (+P) d'un régime surchargé en Mg (+Mg) avec un régime témoin (N).
- OMg : comparaison d'un régime carencé en Mg (OMg1) avec un régime témoin (N) « maïs-soja ».
- ±Mg : comparaison d'un régime carencé en Mg (OMg2) d'un régime surchargé en Mg (+Mg) avec un régime témoin (N).
Pour le lot OMg1 et l'essai ±Mg, le régime contenait de la caséine (30 % : OMg1, 18 % : ±Mg) et de l'amidon de maïs.
- P : comparaison de deux régimes presque exclusivement (90 %) composés de céréales (M : maïs, B : blé, + farine de sang), pauvres en P, celui-ci étant exclusivement phytique.

Des mesures complémentaires concernant les minéraux plasmatiques ou osseux ont été également réalisées sur les essais suivants (tableau 1b) :

- Série témoin T1 (2 mois), T2 (3 mois).
- OCa2, carencés en Ca, plus jeunes que OCa1.
- +Mg, surcharge en Mg réalisée soit après une surcharge calcique (+Ca, tableau 5), +Mg1, soit après un régime normal (N, tableau 5), +Mg2.
- PTX, animaux parathyroïdectomisés.
- OD : carencés en vitamine D, abattus à 2 mois (OD1) ou à 3 mois (OD2) (cf. POINTILLART *et al.*, 1978).

Le dosage des minéraux dans l'os a été décrit en détail par ailleurs (POINTILLART et FONTAINE, 1983), toutes les moyennes sont exprimées en % de l'os sec. Les mesures de la magnésémie, de la calcémie et de la phosphatémie ont été réalisées soit à l'abattage, soit sur des périodes plus ou moins longues (jusqu'à 7 semaines) sur des animaux cathétérisés, soit par ponction dans la veine cave à intervalles réguliers.

RÉSULTATS

A. Facteurs de variation de l'absorption et de la rétention du magnésium

1. Magnésium ingéré

La carence en magnésium diminue l'absorption en valeur absolue mais non en valeur relative, la surcharge a l'effet inverse. La rétention varie dans le même sens : elle diminue, en valeur absolue, avec la carence et augmente avec la surcharge ; en valeur relative, elle ne change pas significativement. Les variations des CUDa ou des CR observées ne sont pas reliées à l'apport du magnésium. Les CUDa et CR des animaux recevant un régime semi-synthétique contenant de la caséine sont significativement supérieurs aux autres (à l'exception d'une série de carencés (tableau 2). Le magnésium fécal varie proportionnellement au magnésium ingéré (figure 1).

2. Calcium

La carence calcique ne change pas l'absorption du magnésium mais augmente significativement la rétention, ce qui se traduit par une chute de la magnésurie (5 % de l'ingéré, 120 mg/jour contre le double environ chez les normaux) (tableau 3).

3. Phosphore

– L'enrichissement du régime en phosphore (apport normal doublé) ne modifie pas significativement les divers paramètres du bilan à l'exception de la magnésurie qui diminue très fortement : 3 % de l'ingéré (moins de 10 mg/jour) contre 10 % chez les témoins (200 mg/jour) (tableau 3).

FIGURE 1
MAGNÉSIUM INGÉRÉ ET MAGNÉSIUM FÉCAL
 (chaque nuage représente un essai)

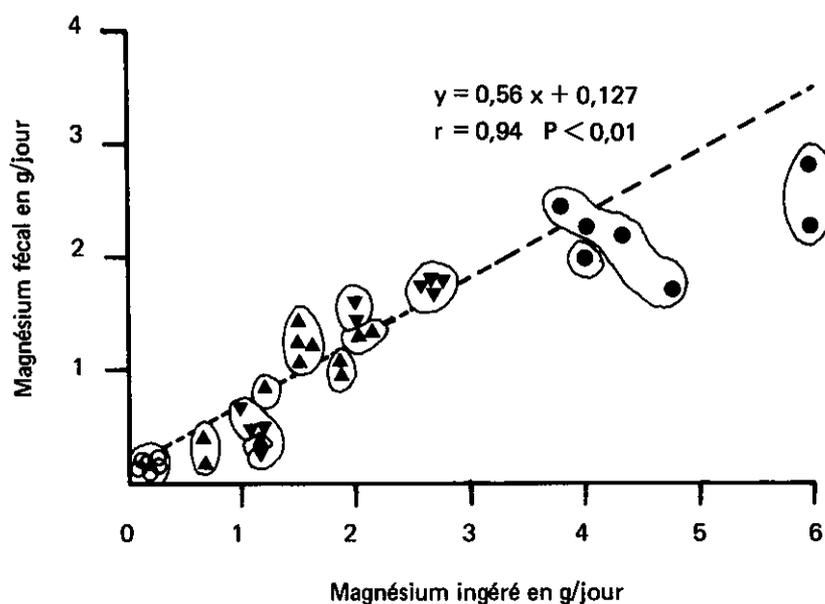


TABLEAU 2
MAGNÉSIUM INGÉRÉ ET VARIATIONS DE L'ABSORPTION ET DE LA RÉTENTION DU MAGNÉSIUM

n x N	Régime	Mg*	Ingéré g/j	Fécal g/j	Absorbé g/j	CUDa % I	Urinaire g/j	Retenu g/j	CR % I
Série « témoins »									
1 x 4	C-S	0,24	2,6	1,8 ± 0	0,8 ± 0	31 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1	15 ± 2
2 x 2	C-S	0,14	1,7	1,2 ± 0	0,4 ± 0	25 ± 3	0,2 ± 0	0,2 ± 0,1	12 ± 1
1 x 4	C-S	0,17	1,4	1,2 ± 0	0,1 ± 0	10 ± 3	0,1 ± 0	0,01 ± 0,1	0,7 ± 4
3 x 2	C-S	0,17	1,9	1,2 ± 0,1	0,7 ± 0,1	36 ± 2	0,1 ± 0	0,6 ± 0,1	31 ± 3
2 x 2	K	0,11	0,8	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0	55 ± 7	0,2 ± 0	0,3 ± 0	43 ± 11
Série « carencés »									
3 x 2	K	70 [■]	0,07	0,05 ± 0	0,02 ± 0	31 ± 18	0,01 ± 0	0,01 ± 0	16 ± 17
2 x 2	K	40 [■]	0,04	0,02 ± 0	0,02 ± 0	50 ± 8	0,01 ± 0	0,01 ± 0	31 ± 7
Série « surchargés »									
2 x 2	K	0,6	5	1,8 ± 0,1	3,2 ± 0,4	65 ± 10	0,6 ± 0,3	2,6 ± 0,4	55 ± 12
2 x 2	C-S	0,5	6,3	4,2 ± 0,2	2,1 ± 0,2	34 ± 3	0,8 ± 0,1	1,3 ± 0,3	21 ± 3

n x N = nombre de bilans x nb porcs, C-S : céréales + soja, K : semi-synthétique + caséine.

* Mg % aliment sec sauf [■]ppm, les écarts-types ± 0 sont ≤ 0,05.

TABLEAU 3
DÉSÉQUILIBRE PHOSPHOCALCIQUE ALIMENTAIRE ET BILAN DU MAGNÉSIUM. SYNTHÈSE

Régime	Ca ¹	P ¹	Ingéré g/j	Fécal g/j	Absorbé g/j	CUDa % I	Urinaire g/j	Retenu g/j	CR % I
Témoins (18) . . .	1	0,7	1,9 ± 0,2	1,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	27 ± 3	0,2 ± 0	0,3 ± 0,1	17 ± 3
+P (8)	0,8	1,2	2,4 ± 0,9	1,4 ± 0,2	1,1 ± 0,8	38 ± 17	0,01 ± 0**	1 ± 0,8	35 ± 18
-P (8)	0,6	0,3	1,1 ± 0*	0,9 ± 0*	0,2 ± 0*	21 ± 3	0,2 ± 0	0,02 ± 0**	0,6 ± 3**
-Ca (4)	0,1	0,5	2,3 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	31 ± 2	0,1 ± 0*	0,6 ± 0,1*	26 ± 1**

Témoins : régimes C-S, ¹en % de l'aliment sec, *P < 0,05/témoins, **P < 0,01, les écarts-types ± 0 sont ≤ 0,05.

– L'apauvrissement en phosphore (régimes avec 0,3 % de P) diminue l'absorption en g/j (mais pas en % de l'ingéré) et la rétention (en valeur absolue et en % de l'ingéré), ce qui est probablement dû à une hypermagnésiurie : en valeur absolue, le Mg urinaire est comparable à celui des normaux mais en valeur relative, l'excrétion est de 20 % de l'ingéré contre 10 % chez les témoins (tableau 3).

B. Facteurs de variations du magnésium osseux

1. Apport en magnésium

La carence diminue significativement le magnésium de l'os (jusqu'à 64 % en moins) quel que soit le type d'os (diaphyse, épiphyse, os entier, mesures sur les métatarsiens (tableau 4). La surcharge augmente le magnésium osseux (jusqu'à 61 %). Le magnésium osseux est donc très fluctuant. La corrélation entre Mg de l'os (en % de la MS osseuse) et de l'aliment (en g/jour) est assez élevée, $r = 0,84$ ($P < 0,01$, calcul sur 25 moyennes soit 41 porcs), $y = 0,6x + 0,22$ (y : os, x : ingéré).

TABLEAU 4
MAGNÉSIUM DU RÉGIME ET MAGNÉSIUM OSSEUX :
DE LA CARENCE A LA SURCHARGE (MÉTATARSIEN)

Age [■]	Essai	Lot	Mg ¹	Mg en % Os sec		
				Diaphyse	Epiphyse	Os entier
120	N		0,2	0,41	0,31	0,43
110	+Mg	(1 + 2)	0,6	0,54 ± 0,1	0,50** ± 0,1	0,65* ± 0,1
130 à 150	OMg	N	0,2	0,34	0,33	0,38
		OMg1	70	0,19**	0,13**	0,17**
180 à 200	±Mg	N	0,1	0,4	0,27	0,35
		+Mg	0,6	0,5**	0,4**	0,49**
		OMg2	40	0,29**	0,20**	0,24**

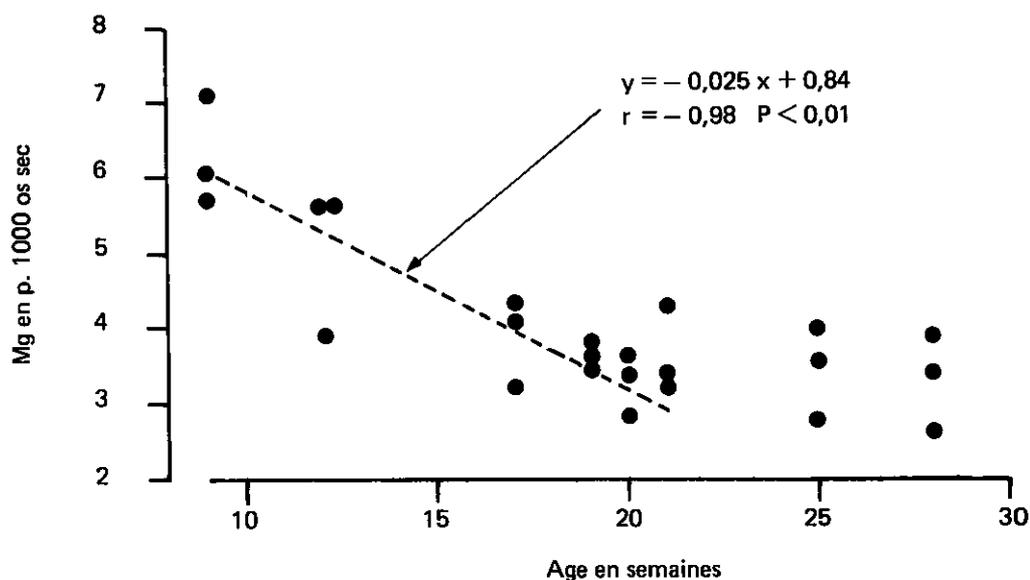
Écarts-types non mentionnés ≤ 0,02, * P < 0,05, ** P < 0,01/N, [■] en jours, ¹Mg % aliment sec ou en ppm (OMg1 et OMg2).

2. Age

Le magnésium osseux régresse significativement avec l'âge surtout avant 4 mois (figure 2) passant de 0,7 à 0,4 % de l'os sec, ensuite, il se stabilise entre 0,3 et 0,4 %.

Si l'on ne tient pas compte de l'âge ou du régime (carence Mg exceptée) la moyenne générale est de $0,47 \pm 0,06$ % de l'os sec (calcul sur 53 moyennes pour 72 porcs) et de $0,4 \pm 0,02$ pour les animaux recevant les régimes témoins.

FIGURE 2
INFLUENCE DE L'AGE SUR LE MAGNÉSIUM OSSEUX (MÉTATARSIEN)



3. Calcium, phosphore et vitamine D

a. *La carence en vitamine D* (OD) diminue significativement la teneur en magnésium de l'os. Ainsi, sur les échantillons d'os entier, le Mg osseux (en % de l'os sec) passe de $0,7 \pm 0,02$ (normaux) à $0,3 \pm 0,01$ (OD) pour les animaux de 2 mois et de $0,6 \pm 0,03$ (N) à $0,4 \pm 0,07$ (OD) pour ceux de 3 mois ($P < 0,01$, 11 d.l.) et ce, malgré un apport normal de Mg (0,2 %).

b. Déséquilibre phosphocalcique alimentaire

Avec les régimes pauvres en calcium (OCa1 ou OCa2, 0,1 % de Ca, 0,2 % de Mg) ou riche en phosphore (HP, 1,2 % de P, 0,2 % de Mg), le magnésium osseux tantôt diminue (4 résultats sur 9), augmente (2/9) ou ne change pas (3/9) :

Age (1)	(n)	Régime	D	E	O
75	(8)	OCa1	0,5**	0,3**	0,4**
60-90	(11)	N	0,6	0,5	0,6
130	(4)	OCa2	0,5**	0,3	0,4
120	(4)	N	0,4	0,3	0,4
120	(4)	HP	0,4	0,4**	0,3**

(1) en jours ** < N ** > N ($P < 0,01$) (écart-type : 0,01).

(D : diaphyses, E : épiphyses, O : os entier, Mg en % métatarsien sec).

Ces trois possibilités coexistant pour un même régime, il est probable que la teneur en Ca et P de celui-ci n'ait pas ou ait peu d'effet sur le magnésium de l'os.

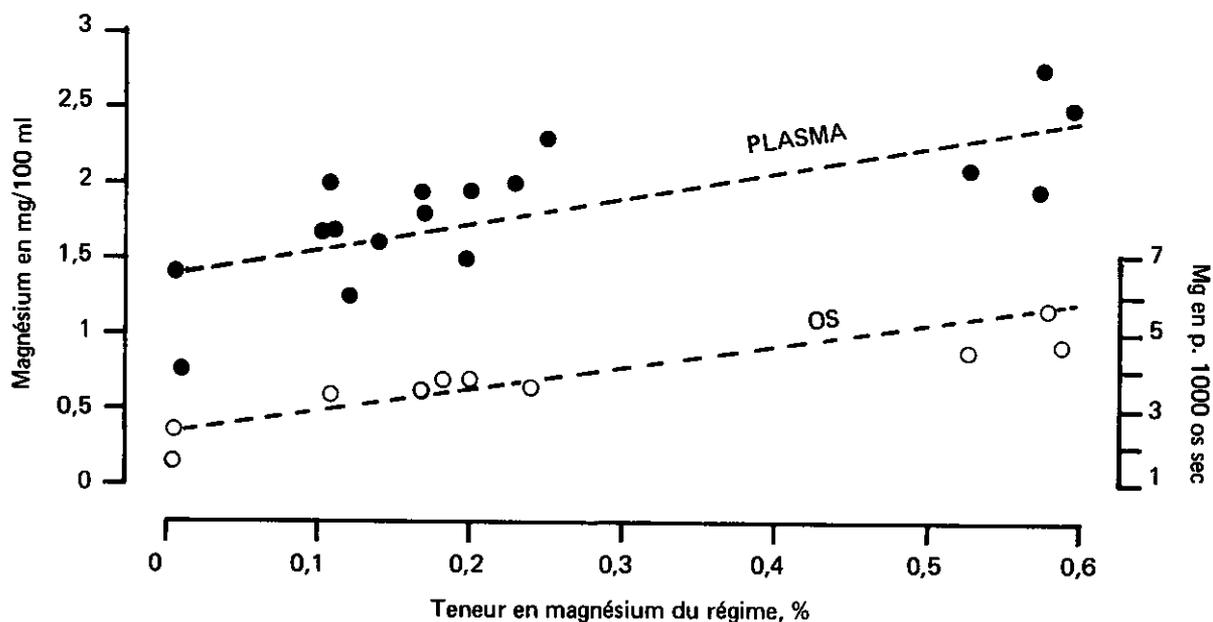
c. Parathyroïdectomie

La parathyroïdectomie (PTX) a plutôt un caractère conservatoire sur le magnésium de l'os mais la comparaison entre animaux PTX et intacts (I) ne porte que sur un très faible nombre de mesures (3 porcs, 8 mesures osseuses) :

Mg % métatarsien sec	PTX : $0,5 \pm 0,02$	P < 0,05 pour 7 d.l.
	I : $0,4 \pm 0,03$	

En conclusion, le magnésium osseux dépend d'une part de l'apport de Mg et d'autre part de l'âge. Le magnésium osseux est beaucoup plus labile (mobilisable) que le calcium et le phosphore puisque la carence Mg mobilise jusqu'à 60 % de Mg osseux, la perte maximale concernant le calcium lors de carence calcique (POINTILLART et FONTAINE, 1983) étant de l'ordre de 20 % (10 % pour P). On peut, connaissant la teneur en Mg de l'aliment (en % MS), estimer le magnésium de l'os (en % MS) avec l'équation suivante : $y = 0,47 x + 0,25$ ($r = 0,90$, $P < 0,01$, calcul sur 10 couples, de la carence à la surcharge, figure 3).

FIGURE 3
MAGNÉSIUM DE L'ALIMENT, MAGNÉSÉMIE ET MAGNÉSIUM OSSEUX



C. Facteurs de variations de la magnésémie

1. Apport de magnésium

La magnésémie varie largement en fonction de l'apport alimentaire de Mg : la carence engendre une hypomagnésémie et la surcharge une hypermagnésémie. On peut estimer la magnésémie (en mg/100 ml) à partir de la teneur en Mg du régime (en % MS) à l'aide de l'équation suivante : $y = 1,68 x + 1,42$, ou $y = \text{magnésémie}$, $x = \text{Mg du régime}$, $r = 0,73$ ($P < 0,001$), calcul sur 17 lots différents (97 porcs) (figure 3).

La baisse provoquée par la carence varie entre l'essai $\pm\text{Mg}$ et l'essai OMg (tableau 5) de -60 % à -28 %, cet écart pourrait venir de la différence d'âge. En effet, plus les animaux sont jeunes, plus la carence est hypomagnésémiant et plus la perte du magnésium osseux est grande :

Lot	Age ¹	Carence ²	Magnésémie ³	Mg % os sec		
				D	E	O
OMg1	130-150	6 à 8	0,71 ± 0,04	0,19	0,13	0,17
OMg2	180-200	10	1,41 ± 0,13**	0,29**	0,20**	0,24**

(¹en jours, ²en semaines, ³en mg/100 ml ; ** P < 0,01).

L'hypermagnésémie provoquée par la surcharge alimentaire de magnésium semble relativement indépendante des modalités de celle-ci (degré de surcharge, durée ou âge des animaux) : il semble que la magnésémie puisse augmenter d'environ 30 % sans dépasser ce seuil (tableau 5).

TABLEAU 5
VARIATIONS DE LA MAGNÉSÉMIE
(en mg/100 ml)

Essai	Lot ou période	Traitement ¹	Mg
+Mg	+Ca	2 % Ca	2 ± 0,1**
	+ Mg1	0,5 % Mg	2,7 ± 0,04**
	N		1,5 ± 0,03
	+Mg2	0,5 % Mg	1,9 ± 0,02**
OMg	OMg1	70 ppm Mg	0,7 ± 0,04*
	N		1,8 ± 0,03
±Mg	N		2 ± 0,06
	+Mg OMg2	0,6 % Mg 40 ppm Mg	2,5 ± 0,1** 1,4 ± 0,1**
Mg-P	+P	1,2 % P	1,2 ± 0,1**
	+ Mg	0,5 % Mg	2,1 ± 0,1**
	N		1,6 ± 0,06
N			1,9 ± 0,02
HP		1,2 % P	2,3 ± 0,2
-P	maïs blé	0,3 % P	1,7 ± 0,03
			1,7 ± 0,03
OCa2		0,1 % Ca	1,9 ± 0,03

¹Traitement : minéral ayant varié par rapport aux apports normaux.

* P < 0,05 (**, P < 0,01) différence avec le lot N correspondant.

2. L'Age

Sur la tranche d'âge observée (entre 2 et 7 mois), la magnésémie semble indépendante de celui-ci.

3. Calcium, phosphore et vitamine D

a. Magnésémie et apports phosphocalciques

La carence en calcium est sans effet sur la magnésémie.

La surcharge (2 % de Ca) élève la magnésémie (essai +Mg, tableau 5, l'écart entre +Ca et N, pour un même apport de Mg, est significatif), mais la comparaison n'englobe que 8 porcs seulement (soit 87 mesures de la magnésémie, COLIN 1981). La carence en magnésium ou la surcharge sont sans effet sur la valeur moyenne de la calcémie.

La surcharge en phosphore a plutôt tendance à diminuer la magnésémie (essai Mg-P, tableau 5), mais de façon non systématique (essai HP). Le régime pauvre en P n'affecte pas la magnésémie : l'écart entre les valeurs moyennes de l'essai -P (1,7 mg/100 ml, tableau 5) et celle du lot N de même âge (1,9) est significatif, mais cela est vraisemblablement dû à un niveau d'apport Mg 2 fois plus faible (-P : 0,1 %, N : 0,2 %) plutôt qu'à celui de P (-P : 0,3 %, N : 0,8 %).

b. Troubles endocriniens

La carence en vitamine D diminue nettement la magnésémie (cf. POINTILLART *et al.*, 1978) : 1,2 mg/100 ml, soit une chute de 34 % comparée à la valeur moyenne normale.

La parathyroïdectomie ne la change pas, l'injection de calcitonine tendrait à la diminuer chez le porc intact ou parathyroïdectomisé (COLIN, 1981 ; POINTILLART et COLIN, 1980).

c. Autres facteurs

Il existe une corrélation entre le magnésium de l'os (en % MS) et celui du plasma (en mg/100 ml) : $r = 0,84$, calcul sur 21 couples de la carence à la surcharge (40 à 6000 ppm de Mg), $y(\text{os}) = -0,002 + 0,201 x(\text{plasma})$. Les teneurs en Mg de l'os et du plasma diminuent simultanément en cas de carence (l'inverse pour la surcharge). Compte tenu de l'ensemble des résultats décrits jusqu'ici, quand le magnésium fait défaut, le déficit est réparti à travers tous les compartiments magnésiques : os, plasma, fèces, urines (et, dans une moindre mesure, les tissus mous). Quand le magnésium est en excès, tous les compartiments ont leur contenu en Mg augmenté.

Il existe une corrélation faible (0,74) mais significative ($P < 0,05$) entre la magnésurie (g/jour) et la magnésémie (mg/100 ml) : $y = 0,4 x - 0,411$ (calcul sur tous les régimes de la carence à la surcharge, d.l. : 6).

En résumé, la magnésémie varie linéairement avec l'apport alimentaire de magnésium et ses variations sont d'une amplitude plus grande que celle de la calcémie ou de la phosphatémie (cf. POINTILLART et FONTAINE, 1983).

D. Interaction Magnésium-Phosphore

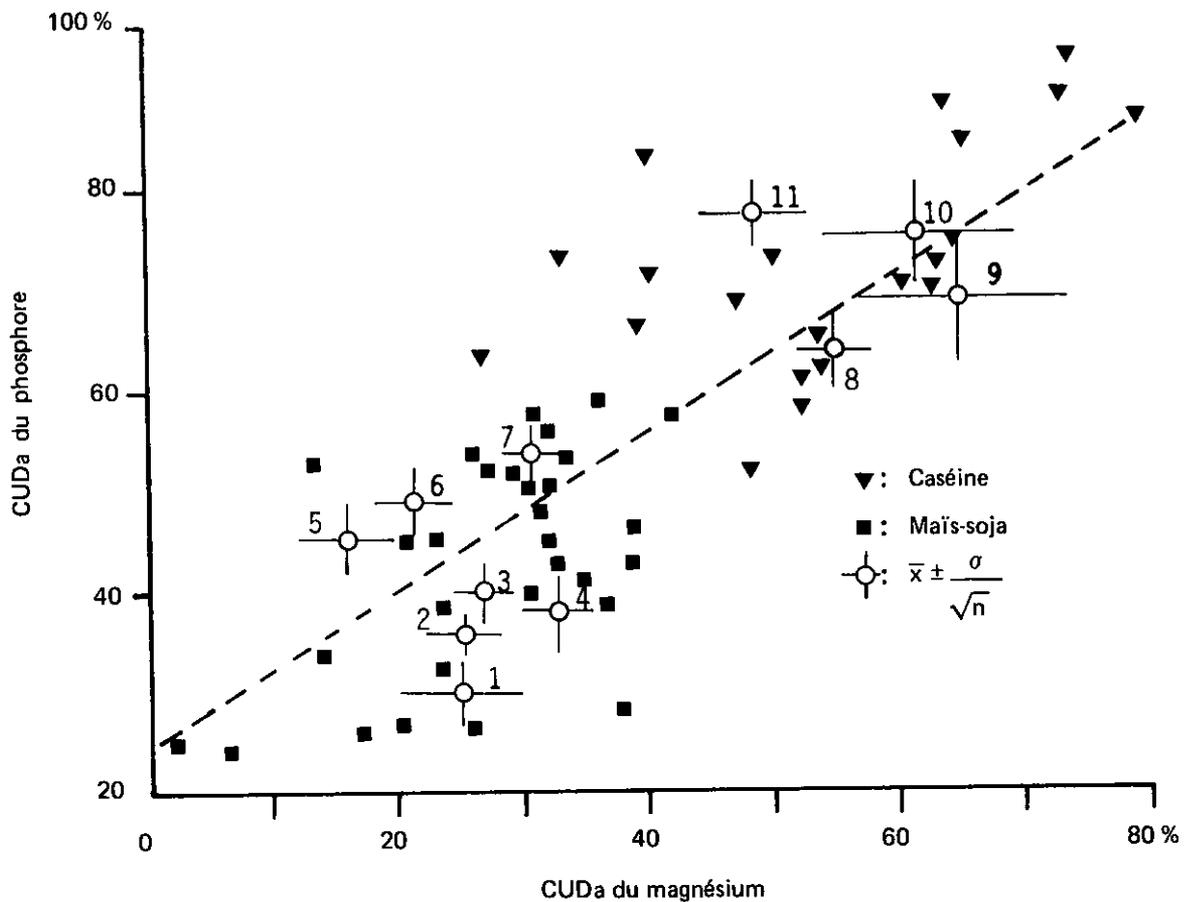
1. Absorption (figure 4)

En valeur relative, l'absorption du phosphore varie dans le même sens que celle du magnésium comme l'indique la corrélation positive élevée existant entre les CUDa de P et ceux de Mg et ce quel que soit l'apport de phosphore ou de magnésium, les apports de l'un comme de l'autre ayant varié de la carence à la surcharge. Cette corrélation subsiste également lors de carence calcique (calcul sur 66 données) :

$$\begin{aligned} y &= 0,8 x + 24 & x &= \text{CUDa de Mg} \\ r &= 0,80 \quad P < 0,01 & y &= \text{CUD de P} \end{aligned}$$

Ce résultat, très important, montre qu'il n'y a pas d'antagonisme au niveau intestinal entre Mg et P comme il en existe un au niveau rénal (cf. § 3).

FIGURE 4
CORRÉLATION ENTRE LES CUDa DE P ET DE Mg



1 : -P maïs, 2 : N(Mg-P), 3 : N(maïs-soja), 4 : +Mg(MgP), 5 : -P blé,
6 : +P(Mg-P), 7 : OCa1, 8 : HP, 9 : +Mg(\pm Mg), 10 : N(caséine),
11 : -Mg(OMg1 + OMg2).

2. Magnésium ingéré et phosphatémie

La surcharge en magnésium diminue significativement la phosphatémie (essai +Mg1, +Mg2 et Mg-P, pas d'effet lors de l'essai \pm Mg) sans modifier la calcémie. La carence en magnésium ne change pas la phosphatémie et parfois diminue la calcémie (POINTILLART *et al.*, 1981), mais ce n'est pas toujours le cas (essai OMg : moyennes à l'abattage, essai \pm Mg : aucune différence).

Il n'y a pas de corrélation entre la magnésémie et la calcémie ou la phosphatémie.

3. Interactions Mg-P au niveau rénal

Ci-dessous sont résumés les effets de régimes à contenus variés en Mg ou P sur l'excrétion urinaires de ces deux ions :

Régime	-Mg	+Mg	+P	-P	N
Mg %	(50 ppm)	0,6	0,2	0,1	0,1-0,2
P %	0,7	0,7	1,2	0,3	0,7
Mg U g/j	0,005 ± 0,001	0,93 ± 0,10	0,08 ± 0,001	0,22 ± 0,02	0,14 ± 0,02
PU g/j	1,3 ± 0,2	0,2 ± 0,1	4,2 ± 0,001	0,02 ± 0,004	0,7 ± 0,2

(Toutes les moyennes sont significativement différentes, $P < 0,05$).

La carence Mg provoque une hyperphosphaturie, la surcharge, une hypophosphaturie, ces variations étant modérées, comparées à celles résultant des modifications de l'apport de P. Le régime pauvre en phosphore entraîne une hypermagnésurie et le régime riche une hypomagnésurie, comme précédemment ces variations sont très inférieures à celles provoquées respectivement par la surcharge et la carence Mg.

4. Interaction Mg-P au niveau osseux

Les résultats (présentés ci-dessous) sont contradictoires : la surcharge peut diminuer le phosphore osseux (1 cas/4), l'augmenter (1 cas/4) ou être sans effet (2/4), la surcharge en phosphore ne modifiant pas le magnésium osseux et la carence Mg diminue le phosphore seulement pour une mesure (diaphyse) :

	Diaphyse		Epiphyse	
	P (1)	Mg (1)	P	Mg
Essai avec caséine 18 %				
N (6)	12,1 ± 0,2 ^a	0,4 ± 0,01 ^a	7,9 ± 0,2 ^a	0,3 ± 0,01 ^a
OMg (6)	11,5 ± 0,2 ^b	0,3 ± 0,01 ^b	8,1 ± 0,2 ^{ab}	0,2 ± 0,01 ^b
+Mg (6)	11,5 ± 0,3 ^{ab}	0,5 ± 0,01 ^c	8,5 ± 0,2 ^b	0,4 ± 0,01 ^c
Essai maïs-soja				
N (5)	10,7 ± 0,2 ^a	0,4 ± 0,02 ^a	8,4 ± 0,1 ^a	0,3 ± 0,01 ^a
+Mg (5)	10,4 ± 0,2 ^a	0,5 ± 0,02 ^b	7,6 ± 0,3 ^b	0,4 ± 0,03 ^b
+P (5)	10,5 ± 0,3 ^a	0,35 ± 0,02 ^a	8,5 ± 0,2 ^a	0,3 ± 0,01 ^a

(1) en % du métatarsien sec, les moyennes ne portant pas les mêmes lettres sont différentes, $P < 0,05$.

5. Discussion : interactions Ca, Mg, P

La carence Mg, hyperphosphaturiante, ne modifie pas la phosphatémie. La surcharge en magnésium est à la fois hypophosphatémiant et hypophosphaturiant : l'hypophosphatémie pourrait être la conséquence d'un hypoparathyroïdisme, l'excès de Mg étant connu pour inhiber la sécrétion de PTH, ce qui a été observé dans un essai chez le porc (essai Mg-P, cf. ESTABLIER, 1982).

L'interaction urinaire entre Mg et P serait un effet propre à ces deux ions, antagonistes au niveau de l'excrétion rénale et elle est également observée dans les autres espèces.

La carence en phosphore diminue la rétention du magnésium en provoquant du rachitisme : au niveau de l'os, le magnésium est retenu entre les mailles de l'hydroxyapatite dont la production est perturbée par manque de phosphore ce qui diminue la fixation du magnésium et contribue aussi à l'hypermagnésurie.

La carence calcique entraîne une rétention plus grande de Mg (et diminue la magnésurie) sans doute parce qu'aux ions Ca^{++} manquants au niveau de l'os se substituent partiellement des

ions Mg^{++} ce que confirme, parfois, l'analyse osseuse. Pour les mêmes raisons, le calcium osseux tendrait à diminuer lors de surcharge Mg, mais les différences au niveau des analyses osseuses ne sont pas toujours significatives.

En inhibant l'excrétion urinaire de phosphore, la surcharge Mg pourrait améliorer le bilan de P.

E. Discussion et synthèse : le besoin en magnésium

Quel que soit le régime alimentaire, l'excrétion fécale et urinaire, l'absorption et la rétention du magnésium dépendent essentiellement de l'apport de Mg dans le régime comme le montrent les corrélations élevées ci-dessous, calculées à partir de 6 moyennes relevées pour les divers régimes (où x = ingéré, g/jour) :

fécal, g/j	: $y = 0,50 x + 0,236$	$r = 0,99$
absorbé, g/j	: $y = 0,48 x - 0,205$	$r = 0,99$
retenu, g/j	: $y = 0,38 x - 0,192$	$r = 0,97$
urinaire, g/j	: $y = 0,11 x - 0,043$	$r = 0,85$

La corrélation moins élevée observée pour l'urinaire est la conséquence de l'interaction très importante avec la teneur en phosphore du régime : $y = -16,1 x + 22,64$, $r = -0,66$, y = MgU en % ingéré et x = P % aliment sec ($P < 0,02$, calcul sur 13 essais différents).

Besoin minimal en magnésium

Quand les apports phosphocalciques sont normaux, la droite de régression du magnésium fécal (g/j) en fonction du Mg ingéré (g/j) permet, en extrapolant, d'évaluer l'excrétion fécale minimale à 127 mg/jour (figure 1, calcul sur 51 données soit 41 porcs). Pour ces mêmes animaux, le CUDa moyen étant de 30,4 %, il est donc nécessaire d'apporter chaque jour dans la ration au moins $0,127/0,304$ soit environ 420 mg de Mg. Si par précaution on incorpore au calcul les régimes déséquilibrés en Ca et P, la fraction devient $0,236/0,336 = 0,702$ g/j (endogène fécal pour un ingéré nul/CUDa moyen, quels que soient les apports Ca, P, Mg, calcul sur 68 données) soit donc un minimum d'apport de 700 mg/jour environ.

Magnésémie

La magnésémie des porcs recevant un régime normal (en Ca, P, Mg et vit. D) varie entre 1,6 et 2 mg/100 ml, la moyenne (calculée sur 500 données) est de $1,82 \pm 0,03$ mg/100 ml. La variabilité de la magnésémie et sa dépendance du niveau alimentaire de magnésium ne permettent pas de la retenir comme critère de définition de l'apport de Mg souhaitable.

Magnésium osseux

La teneur en Mg de l'os ne peut être un critère satisfaisant pour l'évaluation des besoins : plus l'animal ingère de magnésium, plus il en retient dans l'os : il n'est pas possible de définir un contenu « normal » en Mg de l'os. Les extrêmes rencontrés au cours des divers essais sont de 0,7 % de l'os sec (porcs de 2 mois recevant 0,2 % de Mg dans le régime) et 0,3 % (porcs de 7 mois recevant un régime à 0,1 % de Mg).

Magnésium urinaire

L'excrétion urinaire de Mg est plus importante que celle du calcium (Mg : 200 mg/j, 10 % de l'ingéré, Ca : 100 mg/j, au plus 1 % de l'ingéré) en valeur absolue, elle est inférieure à celle de phosphore (≈ 1 g/j), mais comparable en valeur relative (environ 10 %).

Absorption et rétention

Les coefficients d'utilisation digestible (CUDa) et de rétention (CR) sont extrêmement variables d'un essai à l'autre (tableau 3) et comparativement à ceux de Ca ou P, beaucoup plus faibles : environ 30 % pour le CUDa et 20 % pour le CR (CUDa de Ca : 47 ± 4 et de P : 49 ± 4 %, pour les mêmes essais).

Conclusion

L'absorption du magnésium, la magnésémie, le magnésium osseux dépendent quasi exclusivement, au travers des multiples essais considérés, de l'apport de magnésium, ces paramètres étant très peu modifiés par les deux autres minéraux constitutifs de l'os, le calcium et le phosphore. Le besoin minimal de Mg situé entre 0,4 (régimes normaux) et 0,7 g/jour (apports déséquilibrés en Ca ou P) est largement couvert par les régimes classiques qui contiennent très fréquemment plus de 1 g par kg de MS. Il n'est donc pas nécessaire de supplémenter les régimes en Mg. Des recherches sont en cours pour préciser certaines conséquences néfastes de la surcharge Mg, notamment sur la minéralisation (hyperphosphatasémie, décalcification, ESTABLIER et POINTILLART, non publié). Outre l'hypophosphatémie fréquente, déjà décrite, cette surcharge déclenche généralement de la diarrhée. L'absence d'antagonisme Mg-P au niveau intestinal (comme il en existe au niveau rénal) implique que, pratiquement, la surcharge en phosphore n'augmente pas le besoin en magnésium. Le porc résiste assez bien à la carence en Mg : au cours de la carence la plus longue (2,5 mois), aucun signe autre que l'hypomagnésémie n'a pu être observé et la croissance n'était pas ralentie.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTLEY J., REBER E., YUSKEN J., NORTON H., 1961. *J. Anim. Sci.*, **20A**, 137-141.
- COLIN C., 1981. Étude fonctionnelle chez le porc des relations entre calcitonine et magnésium. Mémoire EPHE 39 pp. Station de Recherches de Nutrition, INRA, Jouy-en-Josas.
- ESTABLIER M., 1982. Le besoin en magnésium du porc en croissance. II. Interaction magnésium-phosphore. Mémoire de fin d'études ENFSA-Rennes, 30 pp. Station de Recherches de Nutrition, INRA, Jouy-en-Josas.
- MAYO R., PLUMLEE M., BEESON W., 1959. *J. Anim. Sci.*, **18**, 264-274.
- MILLER E., ULLREY D., ZUTAUT C., BALTZER B., SCHMIDT D., HOEFER J., LUECKE R., 1965a. *J. Nutr.*, **85**, 13-20.
- MILLER E., ULLREY D., ZUTAUT C., HOEFER J., LUECKE R., 1965b. *J. Nutr.*, **86**, 209-212.
- NUORANNE P.J., 1979. *Eur. Ass. Anim. Prod.* 30 th Ann. Meet. Harrogate, Angleterre, 3 pp.
- O'DELL B., MORRIS E., PICKETT E., HOGAN A., 1957. *J. Nutr.*, **63**, 65.
- POINTILLART A., COLIN C., 1980. *Gastroenterol. Clin. Biol.*, **4**, 936-937.
- POINTILLART A., FONTAINE N., 1983. *Journées Rech. Porcine en France*, **15** (sous presse).
- POINTILLART A., FONTAINE N., THOMASSET M., 1981. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, **21**, 854.
- POINTILLART A., GAREL J.M., GUEGUEN L., 1978. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **18**, 167-174.