

# Influence du sexe et du génotype sur la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer, zinc et cuivre chez le porc de 25 à 135 kg de poids vif

Catherine JONDREVILLE (1), Pierre-Stéphane REVY (1) (2), Jean-Yves DOURMAD (1), Yves NYS (3),  
Sandrine HILLION (1), Fabienne PONTRUCHER (1), Jesus GONZALEZ (4), Joaquim SOLER (4),  
Rosil LIZARDO (5), Joan TIBAU (4)

(1) INRA, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

(2) Calcialiment, Z.I. de la Gare, 22690 Pleudihen

(3) INRA, Station de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly

(4) IRTA, Centro de Control Porcino, 17121 Monells, Espagne

(5) IRTA, Departamento de Nutrición Animal, 43280 Reus, Espagne

## **Influence du sexe et du génotype sur la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer, zinc et cuivre chez le porc de 25 à 135 kg de poids vif**

Cette étude a été conduite sur 112 porcs de 2 sexes (mâles castrés et femelles) et de deux génotypes différents ((Large-White x Landrace) x Large-White et (Large-White x Landrace) x Piétrain). De 25 à 135 kg, ils ont successivement reçu un aliment de type croissance puis un aliment de type finition leur permettant d'exprimer leur potentiel maximum de croissance. A chacun des poids vifs suivants (25, 40, 60, 80, 105, 120 et 135 kg), 16 animaux (4 mâles castrés et 4 femelles de chacun des deux génotypes) ont été abattus et leur composition corporelle en cendres et minéraux (P, Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn et Cu) a été déterminée. Des relations allométriques entre le contenu corporel de chacun de ces éléments et le poids vif vide (PVV) ont été établies. Le génotype n'affectait le contenu corporel d'aucun des éléments étudiés ( $P > 0,05$ ). Les teneurs corporelles en cendres, P, Mg, Na et K des femelles étaient supérieures à celles des mâles castrés. La concentration corporelle des cendres, du Ca et du P augmentait avec le poids des animaux. Celle du Mg était indépendante du poids des animaux alors que celles du Na, du K, du Fe, du Zn et du Cu diminuaient progressivement. Ces équations ont été utilisées pour calculer le bilan de certains minéraux selon leur concentration dans l'aliment.

## **Influence of genotype and sex on minerals (Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Zn, Cu) content and retention in the body of pigs from 25 to 135 kg of body weight**

This study was conducted with 112 castrated male and female pigs of two genotypes (offspring of Large-White x Landrace sows mated with either Large-White or Pietrain boars, respectively). From 25 to 135 kg, pigs were successively fed a grower and a finisher diet that allowed the full expression of their potential for growth. They were serially slaughtered at 25, 40, 60, 80, 105, 120 and 135 kg body weight and their mineral (ash, P, Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn and Cu) empty body composition was determined. Allometric relationships between the empty body content of each mineral and the empty body weight were fitted. There was no effect ( $P > 0.05$ ) of genotype on the empty body content of any of the minerals. The concentration of ash, P, Mg, Na and K in empty body of females was higher than the one of castrates. The concentration of ash, Ca and P in empty body increased as the animals grew. Mg concentration remained constant whereas Na, K, Fe, Zn and Cu concentrations gradually decreased. The presented equations were used to calculate the balance of several potentially polluting minerals, according to their concentration in diets.

## INTRODUCTION

La plupart des études sur la composition chimique corporelle des porcs portent sur les protéines, les lipides, l'eau et les cendres. Certains auteurs se sont également intéressés à la teneur corporelle en macro-éléments du porc selon son poids (e.g. RYMARZ et al., 1982 ; JONGBLOED et EVERTS, 1992 ; MAHAN et SHIELDS, 1998), mais sa teneur corporelle en oligo-éléments n'a été que très rarement abordée (KIRCHGESSNER et al., 1994 ; MAHAN et NEWTON, 1995 ; MAHAN et SHIELDS, 1998). Pourtant, au même titre que les performances de croissance des animaux, des modèles permettant de calculer la rétention corporelle de minéraux sont nécessaires à la détermination factorielle des besoins en macro éléments des porcs (GUEGUEN et PEREZ, 1981 ; JONGBLOED et EVERTS, 1992). De tels modèles sont également indispensables au calcul des rejets d'éléments minéraux polluants, notamment le P, le Zn et le Cu, par les porcs. En effet, l'application d'un coefficient de rétention fixe, indépendant de la concentration de l'aliment en ces éléments, peut entraîner des erreurs importantes sur l'estimation des rejets.

Certains auteurs ont mis en évidence une relation entre le dépôt corporel de protéines et celui de certains macro éléments (RYMARZ et al., 1982 ; FANDREJEWSKI et RYMARZ, 1986 ; HENDRIKS et MOUGHAN, 1993). Ainsi, l'effet du génotype et celui du sexe sur la rétention minérale du porc peuvent être suspectés en raison de leurs effets connus sur sa vitesse de croissance et sa composition corporelle.

Le travail présenté ici fait partie d'une étude plus large menée par l'IRTA en Espagne. Elle est destinée à déterminer la composition corporelle (eau, cendres, lipides, protéines) de porcs, mâles castrés et femelles, abattus entre 25 et 135 kg, et appartenant à deux génotypes couramment élevés en Espagne (TIBAU et al., 2002). Le présent article a pour objet d'établir des modèles de rétention de minéraux (Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Zn et Cu) en fonction du poids vif, selon le sexe et le génotype du porc.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Animaux et procédure expérimentale

L'étude initiale (TIBAU et al., 2002) a été conduite sur 192 porcs, mâles castrés (MC) ou femelles (F), issus du croisement de femelles Large White x Landrace avec un verrat soit Large White (LW), soit Piétrain (Pi). Les animaux ont été élevés de 25 kg jusqu'à l'abattage, dans 16 loges identiques comprenant chacune 12 animaux de même sexe et appartenant pour moitié à l'un des deux génotypes. Un aliment de type croissance puis un aliment de type finition, permettant l'expression du potentiel maximal de croissance des animaux, leur a été distribué ad libitum au moyen de nourrisseurs qui enregistraient automatiquement leur consommation individuelle (IVOG®, Insentec, Pays-Bas). La composition et les caractéristiques analytiques de ces aliments ont été publiées par TIBAU et al. (2002). Au début de l'essai, 6 mâles castrés et 6 femelles de chacun des deux génotypes (soit 24 animaux au total) ont été abattus. Des groupes de

même composition ont été constitués et abattus à des poids d'abattage cibles de 40, 60, 80, 105, 120 et 135 kg.

### 1.2. Collecte des échantillons

À l'abattage, le sang de chaque animal a été pesé. Après éviscération, chaque carcasse comprenant la tête a été pesée puis séparée en deux. Pour chaque animal, un compartiment « carcasse », comprenant la demi-carcasse gauche avec demi tête mais sans langue, panne, ni rognon, et un compartiment « viscères », comprenant les organes thoraciques, la panne, les rognons, la langue, la cervelle, les organes génitaux, la vessie vide et le tube digestif vide, ont été constitués, emballés séparément puis congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$ . Chacun de ces compartiments encore congelé a été concassé, broyé à trois reprises en utilisant des grilles de diamètre décroissant jusqu'à 3 mm, puis homogénéisé. Un échantillon de chaque compartiment broyé a été pesé puis lyophilisé avant analyses.

### 1.3. Analyses de laboratoire

Toutes les analyses ont été effectuées en double. Parmi les animaux abattus, 112 (4 mâles castrés et 4 femelles de chacun des deux génotypes par poids d'abattage) ont été choisis comme étant ceux dont le poids d'abattage était le plus proche de la valeur cible. Toutes les carcasses et la moitié des viscères (2 mâles castrés et 2 femelles de chacun des deux génotypes par poids d'abattage) ont été analysées. Des échantillons d'aliment, de carcasses et de viscères lyophilisés ont été séchés à  $103^{\circ}\text{C}$  afin de déterminer leur teneur en matière sèche. Ces échantillons ont ensuite été incinérés dans un four à moufle à  $550^{\circ}\text{C}$  pendant 8 h. Les cendres ont été pesées, minéralisées avec de l'acide nitrique 16 N et du peroxyde d'hydrogène à 30 % sur un bain à sec jusqu'à évaporation, puis diluées dans de l'acide nitrique 0,4 N. Le calcium, le potassium, le sodium, le magnésium, le fer, le zinc et le cuivre ont été analysés par spectrométrie d'absorption atomique (SpectrAA 220 FS, Varian, Springvale, Australie). Le phosphore a été analysé selon la méthode colorimétrique Vanadate sur l'appareil Cobas Mira (Hoffman-LaRoche, Nutley, NJ).

Les teneurs en matières grasses et azote des carcasses et viscères ont été déterminées selon les procédures de l'AOAC (1990) et déjà présentées par TIBAU et al. (2002).

### 1.4. Calculs et analyses statistiques

La composition minérale corporelle de chacun des porcs abattus a été calculée en supposant que les teneurs en cendres et minéraux des viscères d'animaux de mêmes sexe, génotype et poids d'abattage étaient équivalentes. Par ailleurs, les teneurs en Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Cu et Zn du sang ont été estimées à respectivement 60 ; 200 ; 1700 ; 2150 ; 35 ; 45 ; 1,3 et 4,0 mg/kg (GEORGIEVSKII, 1982) indépendamment du sexe, du génotype et du poids d'abattage.

L'analyse statistique des données a été menée au moyen de la procédure GLM du logiciel SAS (1990), selon la méthodo-

logie décrite par GU et al. (1992). Pour chaque groupe de poids d'abattage, un modèle contenant les effets du génotype (G), du sexe (S) et leur interaction ainsi que le poids vif vide (PVV) à l'abattage a été utilisé pour calculer les moyennes ajustées du poids vif (PV) et des contenus corporels en protéines, lipides, cendres et chacun des éléments minéraux. Dans ce but, la relation allométrique  $Y = a X^b$  a été utilisée après linéarisation en  $\ln Y = \ln a + b \ln X$ , où  $Y = PV$ , protéines, lipides, cendres ou chacun des éléments minéraux (kg, g ou mg/porc),  $X = PVV$  (kg). Afin d'établir des relations allométriques entre les contenus corporels en cendres, chacun des éléments minéraux et le PVV, le modèle linéaire incluait le génotype (G), le sexe (S), leur interaction (G x S), et leur interaction avec  $\ln PVV$  ( $\ln PVV \times S$ ,  $\ln PVV \times G$  et  $\ln PVV \times S \times G$ ). Ces premiers et derniers termes permettaient de tester l'effet de G, S et G x S sur, respectivement, l'ordonnée à l'origine et la pente de la relation linéaire

obtenue. Lorsqu'ils n'étaient pas significatifs ( $P > 0,05$ ), ces termes étaient éliminés du modèle de façon séquentielle. La comparaison de b à 1 a été effectuée au moyen d'un test t avec n-p degrés de liberté, p étant le nombre de degrés de liberté dus au modèle. La valeur de t a été calculée comme étant égale à  $(b-1)/SE_b$ .

## 2. RÉSULTATS

Les teneurs en Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Zn et Cu de l'aliment distribué aux animaux en croissance étaient respectivement de 10,7 g, 8,45 g, 8,08 g, 1,73 g, 1,50 g, 401 mg, 170 mg et 87 mg/kg. Ces teneurs atteignaient respectivement 10,2 g, 8,17 g, 7,30 g, 1,54 g, 1,42 g, 396 mg, 154 mg et 85 mg/kg dans l'aliment de type finition. Les performances d'engraissement des animaux ont été publiées par TIBAU et al. (2002).

**Tableau 1** - Moyennes ajustées<sup>a</sup> du poids vif (PV) et des contenus corporels en cendres et en chacun des éléments minéraux selon le groupe d'abattage (GA)

G <sup>b</sup>	S <sup>c</sup>	GA <sup>d</sup>	PV (kg)	Cendres (kg)	Ca (g)	P (g)	K (g)	Na (g)	Mg (g)	Fe (mg)	Zn (mg)	Cu (mg)
LW	C	25	24,1	0,622	151	98,5	60,1	26,1	6,21	831	680	37,4
LW	F	25	24,5	0,652	143	102	60,6	25,7	6,53	794	695	35,5
Pi	C	25	24,7	0,621	131	93,2	60,7	26,4	6,00	775	651	36,5
Pi	F	25	25,3	0,631	150	109	64,1	26,8	6,44	821	702	36,2
LW	C	40	40,7	1,30	324	198	97,0	41,9	12,0	1350	891	51,0
LW	F	40	41,2	1,18	321	197	93,9	41,8	11,4	1263	837	46,6
Pi	C	40	39,4	1,18	281	186	101	40,5	11,4	1319	839	50,0
Pi	F	40	40,3	1,13	286	175	96,4	39,4	11,3	1274	767	44,0
LW	C	60	60,9	1,68	424	294	142	56,9	15,4	1726	1065	63,8
LW	F	60	58,6	1,70	397	273	137	53,0	14,6	1794	1013	67,2
Pi	C	60	61,3	1,73	418	290	140	54,9	14,9	1816	1040	61,5
Pi	F	60	59,1	1,72	424	289	150	55,8	16,2	1868	1056	71,5
LW	C	80	80,7	2,25	601	379	173	72,4	20,4	2344	1334	86,0
LW	F	80	77,5	2,19	572	391	194	74,5	21,4	2270	1366	86,7
Pi	C	80	78,8	2,06	528	356	176	67,7	18,9	2228	1303	82,8
Pi	F	80	78,8	2,27	588	377	186	70,3	20,2	2223	1280	90,4
LW	C	105	104	2,70	706	462	212	83,0	24,9	3022	1679	105
LW	F	105	104	3,08	826	533	242	90,4	29,0	3076	1837	113
Pi	C	105	108	2,83	765	483	221	83,2	25,6	3092	1659	105
Pi	F	105	101	2,94	772	500	243	84,7	26,9	3126	1767	109
LW	C	120	121	3,53	1015	601	251	99,0	32,9	3900	2200	133
LW	F	120	117	3,75	1036	676	267	106	35,1	4058	2203	150
Pi	C	120	123	3,46	962	636	259	101	31,9	3929	2101	133
Pi	F	120	119	3,54	998	641	264	102	33,1	4053	2197	154
LW	C	135	132	3,82	1030	677	247	105	33,7	3925	2204	130
LW	F	135	133	4,07	1119	748	286	118	37,4	4198	2405	166
Pi	C	135	136	3,81	1091	717	273	111	35,3	4056	2353	142
Pi	F	135	134	4,00	1045	709	296	113	36,1	4076	2413	156

<sup>a</sup> moyennes (n=4) ajustées pour un poids vif vide (PVV) de respectivement 23,6 ; 38,7 ; 56,7 ; 75,4 ; 98,2 ; 115 et 126 kg pour les groupes de 25 ; 40 ; 60 ; 80 ; 105 ; 120 et 135 kg PV à l'abattage.

<sup>b</sup> génotypes (G) : LW = (Large White x Landrace) x Large White et Pi = (Large White x Landrace) x Piétrain

<sup>c</sup> sexes (S) : C = mâles castrés et F = femelles

<sup>d</sup> groupe d'abattage (GA) : poids vif cible d'abattage (kg)

Pour la population d'animaux que nous avons utilisée, le PVV représentait 95,2 % du PV ( $R^2 = 0,99$  ; ETR = 1,35 kg) et la protéine 15,5 % du PVV ( $R^2 = 0,96$  ; ETR = 0,907 kg), indépendamment du génotype, du sexe et du groupe d'abattage ( $P > 0,05$ ). Le contenu corporel en lipides était indépendant du génotype, mais augmentait plus rapidement ( $P < 0,001$ ) avec le PVV chez les mâles castrés (Lipides (g) = 17,0 PVV (kg) <sup>1,54</sup> ;  $R^2 = 0,96$  ; ETR = 1710) que chez les femelles (Lipides (g) = 17,0 PVV (kg) <sup>1,51</sup> ;  $R^2 = 0,95$  ; ETR = 1391).

Les moyennes du PV et des contenus corporels en cendres et en chacun des éléments minéraux sont présentées au tableau 1. Les paramètres des relations allométriques entre le contenu corporel en cendres et en éléments minéraux et le PVV sont présentés au tableau 2.

Ni l'ordonnée à l'origine (ln a) ni la pente (b) de la relation linéaire entre le logarithme des contenus corporels en

cendres ou en chacun des éléments minéraux et celui du PVV n'étaient affectées par le génotype ou l'interaction G x S. L'effet du sexe et son interaction avec ln PVV sur les contenus corporels en Ca, Fe et Zn étaient non significatifs ( $P > 0,05$ ). Au contraire, la teneur en P et Mg du PVV des femelles excédait de respectivement 4,9 et 5,8 % celle des mâles castrés indépendamment du poids d'abattage (effet S,  $P < 0,05$ ). Les femelles présentaient un contenu corporel en cendres, Na et K plus élevé que les mâles castrés, la différence entre les deux sexes s'accroissant avec l'augmentation du PVV (interaction ln PVV x S,  $P < 0,05$ ) pour atteindre respectivement 4,8 ; 6,8 et 7,9 % au poids d'abattage le plus élevé. Enfin, le sexe affectait l'ordonnée à l'origine ( $P < 0,01$ ) et la pente ( $P < 0,001$ ) de la relation linéaire entre ln Cu et ln PVV. Le contenu corporel en Cu des femelles était inférieur à celui des mâles castrés en début d'expérimentation (-5,7 % pour un PVV de 24 kg) mais lui était supérieur pour le poids d'abattage le plus élevé (+15,0 % pour un PVV de 126 kg).

**Tableau 2** - Paramètres des relations allométriques entre les contenus corporels en cendres et en éléments minéraux et le poids vif vide (PVV, kg)

Y	Génotypes		Coefficients du modèle <sup>c</sup>			R <sup>2f</sup>	ETR <sup>f</sup>	CV% <sup>f</sup>	Effets <sup>e</sup>
	G <sup>a</sup>	S <sup>b</sup>	a	b	P <sup>d</sup>				
Cendres (g)	LW/Pi	C	24,1	1,05	***	0,97	140	6,2	ln PVV x S*
	LW/Pi	F	24,1	1,06	***	0,97	145	6,1	
	LW/Pi	C/F	24,1	1,05	***	0,97	216	9,3	
Ca (g)	LW/Pi	C/F	3,94	1,16	***	0,95	77,3	12,6	
P (g)	LW/Pi	C	2,86	1,13	***	0,97	28,0	7,1	S*
	LW/Pi	F	3,00	1,13	***	0,97	28,3	6,8	
	LW/Pi	C/F	2,92	1,13	***	0,96	42,5	10,5	
K (g)	LW/Pi	C	3,73	0,89	***	0,96	11,0	6,3	ln PVV x S***
	LW/Pi	F	3,73	0,90	***	0,98	9,05	4,9	
	LW/Pi	C/F	3,72	0,90	***	0,96	16,5	9,2	
Na (g)	LW/Pi	C	2,03	0,82	***	0,97	3,35	4,8	S*, ln PVV x S**
	LW/Pi	F	1,66	0,87	***	0,98	3,00	4,2	
	LW/Pi	C/F	1,85	0,84	***	0,97	4,99	7,0	
Mg (g)	LW/Pi	C	0,265	1,00	NS	0,97	1,29	6,2	S***
	LW/Pi	F	0,280	1,00	NS	0,98	1,20	5,5	
	LW/Pi	C/F	0,272	1,00	NS	0,98	1,42	6,6	
Fe (mg)	LW/Pi	C/F	37,2	0,97	*	0,97	213	8,6	
Zn (mg)	LW/Pi	C/F	55,8	0,76	***	0,94	161	11,1	
Cu (mg)	LW/Pi	C	2,76	0,80	***	0,96	5,95	6,8	S**, ln PVV x S***
	LW/Pi	F	1,78	0,92	**	0,94	8,41	8,8	
	LW/Pi	C/F	2,25	0,86	***	0,92	12,0	13,1	

<sup>a</sup> génotypes (G) : LW = (Large White x Landrace) x Large White et Pi = (Large White x Landrace) x Piétrain

<sup>b</sup> sexes (S) : C = mâles castrés et F = femelles

<sup>c</sup> estimation des paramètres du modèle  $\ln Y = \ln a + b \ln PVV$

<sup>d</sup> degré de signification de la différence entre le coefficient d'allométrie (b) et 1 ; NS :  $P > 0,05$  ; \* :  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$

<sup>e</sup> ni les interactions ln PVV x G x S, ln PVV x G, G x S ni l'effet de G n'étaient significatifs ( $P > 0,05$ ) ; un effet significatif du sexe (S) et de l'interaction ln PVV x S signifient respectivement que l'ordonnée à l'origine (ln a) et la pente (b) de la relation linéaire diffèrent ; \* :  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$

<sup>f</sup> Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) est le carré du coefficient de corrélation entre les valeurs prédites et observées. L'écart type résiduel (ETR) et le coefficient de variation (CV) ont été calculés comme décrit par GU et al. (1992).

La comparaison des coefficients d'allométrie ( $b$ ) à l'unité indique que la concentration corporelle des cendres, du Ca et du P augmentait ( $P < 0,001$ ) avec le PVV,  $b$  étant estimé à respectivement 1,05 ; 1,16 et 1,13. La teneur corporelle en Mg était indépendante du PVV ( $b = 1,00$  ;  $P > 0,05$ ). Au contraire les teneurs corporelles en Na et K diminuaient avec l'augmentation du PVV (sexes confondus,  $b = 0,84$  et  $0,90$ , respectivement ;  $P < 0,001$ ). De même, celle du Fe ( $b = 0,97$  ;  $P < 0,05$ ) et plus encore celle du Zn ( $b = 0,76$  ;  $P < 0,001$ ) diminuaient avec l'augmentation du PVV. Enfin pour les porcs abattus après 40 kg, la concentration corporelle du Cu diminuait (sexes confondus,  $b = 0,86$  ;  $P < 0,001$ ) avec l'augmentation du PVV.

### 3. DISCUSSION

#### 3.1. Composition corporelle et rétention de minéraux

##### 3.1.1. Cendres, calcium et phosphore

Dans notre étude, le rapport protéines/cendres (g/g) diminuait de 5,8 pour des animaux de 25 kg à 4,8 pour des animaux de 135 kg, suggérant un développement plus tardif du squelette que du tissu musculaire. Les résultats de MAHAN et SHIELDS (1998) suggèrent également ce type de développement du squelette relativement au tissu musculaire, avec un rapport protéines/cendres restant stable à 5,9 pour des animaux pesant de 20 à 125 kg puis déclinant à 5,1 chez des porcs de 145 kg. Toutefois, ce résultat est en désaccord avec les observations de RYMARZ et al. (1982) qui ont calculé, pour des animaux élevés entre 20 et 90 kg, un rapport de 5,2, indépendamment du poids des animaux.

Le rapport Ca/P peut être prédit en fonction du poids vif vide selon l'expression  $1,34 \text{ PVV}^{0,029}$  à partir des équations présentées au tableau 2. Il augmente de 1,47 chez les animaux de 25 kg à 1,54 chez les animaux de 135 kg. D'autres auteurs ont observé également un dépôt corporel plus tardif de Ca que de P avec une augmentation du rapport Ca/P de 1,55 à 1,64 pour des porcs de 20 à 125 kg (MAHAN et SHIELDS, 1998) et de 1,60 à 1,73 pour des porcs de 20 à 90 kg (RYMARZ et al., 1982). Le Ca corporel étant principalement localisé dans le tissu osseux et le P corporel étant localisé à la fois dans les tissus mous et dans le tissu osseux (CRENSHAW, 2001), cette augmentation du rapport Ca/P avec l'augmentation du poids des animaux suggère, comme la diminution du rapport protéines/cendres, un déclin du dépôt de muscle par rapport au tissu osseux.

Cependant, l'augmentation de la teneur corporelle en Ca et P avec le poids des animaux est en désaccord avec certains résultats de la littérature. En effet, selon JONGBLOED et EVERTS (1992), la teneur corporelle en P diminue avec l'augmentation du poids des animaux et en est indépendante selon RYMARZ et al. (1982) et HENDRIKS et MOUGHAN (1993). De même, la teneur corporelle en Ca est indépendante du poids des animaux selon HENDRIKS et MOUGHAN (1993). Selon RYMARZ et al. (1982), elle augmente avec le poids des animaux, mais beaucoup moins

rapidement que dans notre étude. Il est possible que les teneurs élevées en P et Ca de l'aliment distribué en finition aient entraîné une minéralisation osseuse particulièrement élevée.

##### 3.1.2. Potassium, sodium et magnésium

La décroissance plus rapide de la concentration corporelle du Na par rapport à celle du K avec l'augmentation du poids des animaux a déjà été observée par ailleurs (RYMARZ et al., 1982 ; HENDRIKS et MOUGHAN, 1993 ; MAHAN et SHIELDS, 1998). Ces deux éléments étant impliqués dans la régulation osmotique, respectivement aux niveaux extra et intra cellulaires, et la masse relative des fluides circulants diminuant avec l'augmentation du poids des animaux (PATIENCE et ZIJLSTRA, 2001), ces différences étaient attendues. Dans notre étude, le rapport K/Na, qui peut être prédit selon l'expression  $2,01 \text{ PVV}^{0,052}$  (sexes confondus, tableau 2) augmente de 2,37 à 2,59 lorsque le poids vif augmente de 25 à 135 kg. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur de celles qui ont été publiées par RYMARZ et al. (1982). Par ailleurs, la rétention plus élevée de Na et K par kg PVV chez les animaux les plus maigres (femelles) comparativement aux animaux les plus gras (mâles castrés) est en accord avec les observations de FRANDEJEWSKI et RYMARZ (1986) et HENDRIKS et MOUGHAN (1993).

La rétention isométrique du Mg avec le PVV a déjà été mentionnée (HENDRIKS et MOUGHAN, 1993 ; MAHAN et SHIELDS, 1998). Cependant, l'effet du sexe sur la rétention du Mg observé dans notre étude n'apparaît pas dans celle publiée par HENDRIKS et MOUGHAN (1993).

##### 3.1.3. Fer, zinc et cuivre

Les contenus corporels en Fe, Zn et Cu mesurés dans notre étude sont en accord avec les rares données publiées (KIRCHGESSNER et al., 1994 ; MAHAN et NEWTON, 1995 ; MAHAN et SHIELDS, 1998). Toutefois, la littérature fait état d'une grande variabilité puisque les contenus corporels en Fe, Zn et Cu d'un animal de 110 kg s'échelonnent respectivement entre 1700 et 5200, 1500 et 2500, 80 et 210 mg.

MAHAN et SHIELDS (1998) ont observé une décroissance de la concentration corporelle du fer avec l'augmentation du poids des animaux, mais plus rapide que dans notre étude. L'hémoglobine en représentant 60 %, notre estimation du Fe corporel a pu être biaisée. Cependant, nos données sont très proches de celles publiées par MAHAN et SHIELDS (1998) pour des porcs de 25 kg et par MAHAN et NEWTON (1995) pour des porcs de 130 kg.

La vitesse à laquelle les teneurs corporelles en Zn et en Cu diminuent lorsque le PVV des animaux augmente est du même ordre de grandeur que celle décrite par MAHAN et SHIELDS (1998) pour le Zn, mais plus élevée pour le Cu. La décroissance plus rapide de la concentration corporelle du Cu chez les mâles castrés par rapport aux femelles est en accord avec les résultats obtenus pour les cendres, le K et le Na.

**Tableau 3** - Bilans d'azote, phosphore, potassium, zinc et cuivre des animaux élevés entre 25 et 105 kg<sup>a</sup>

G <sup>b</sup>	S <sup>c</sup>	N	P	K	Zn	Cu
Ingéré (g/porc)						
LW/Pi	C	6036	1631	1506	31,8	16,9
LW/Pi	F	5344	1442	1334	28,2	14,9
	ETR <sup>e</sup>	292	78,6	73,1	1,54	0,815
	Effets <sup>e</sup>	S**	S**	S**	S**	S**
Retenu (g/porc) <sup>d</sup>						
LW/Pi	C	1767	395	151	1,14	0,0703
LW/Pi	F	1753	412	162	1,13	0,0836
	ETR <sup>e</sup>	60,4	16,7	7,7	0,046	0,0028
	Effets <sup>e</sup>			S*		S***
Retenu (% ingéré)						
LW/Pi	C	29,3	24,2	10,0	3,59	0,416
LW/Pi	F	32,8	28,6	12,2	4,02	0,559
	ETR <sup>e</sup>	1,96	1,91	0,88	0,255	0,0325
	Effets <sup>e</sup>	S**	S**	S**	S*	S***
Excrété (g/porc)						
LW/Pi	C	4269	1236	1355	30,6	16,8
LW/Pi	F	3591	1030	1172	27,0	14,9
	ETR <sup>e</sup>	294	83,0	74,7	1,54	0,81
	Effets <sup>e</sup>	S**	S**	S**	S**	S**

<sup>a</sup> moyennes ajustées (n=4) pour un poids vif vide initial et final de respectivement 23,6 et 98,2 kg

<sup>b</sup> genotypes (G) : LW = (Large White x Landrace) x Large White et Pi = (Large White x Landrace) x Piétrain

<sup>c</sup> sexes (S) : C = mâles castrés et F = femelles

<sup>d</sup> Calculé à partir des équations présentées au tableau 2

<sup>e</sup> Ni l'interaction G x S ni l'effet du génotype n'étaient significatifs (P > 0,05) ; \* : P < 0,05 ; \*\* : P < 0,01 ; \*\*\* : P < 0,001 ; ETR : écart type résiduel

### 3.2. Bilan minéral

A partir de la composition des aliments, de l'indice de consommation des animaux et des équations de composition corporelle présentées au tableau 2, nous avons calculé les bilans d'N, P, K, Zn et Cu des animaux abattus à 105 kg (tableau 3). Pour cette période (25 à 105 kg), les femelles ont présenté un indice de consommation de 10 % inférieur à celui des mâles castrés (2,25 vs 2,50, P < 0,01). Par conséquent, leur ingestion et leur excrétion d'N et de chacun des minéraux ont été inférieures à celles des mâles castrés. En raison de la teneur élevée en P de leur alimentation, ces animaux ont rejeté 71 à 76 % du P ingéré. Plus encore, 96% du Zn ingéré et plus de 99 % du Cu ingéré ont été excrétés.

A partir de ces données de rétention, on peut aisément prédire la quantité de chacun des minéraux excrétée par les animaux et appliquée par hectare lors de l'épandage du lisier, selon sa concentration dans les aliments. Un exemple de calcul avec le Zn et le Cu, dont les apports étaient largement en excès, est présenté au tableau 4. Sur la base de l'application annuelle d'une quantité donnée d'azote par hectare, les différences entre sexes disparaissent, c'est pourquoi les calculs ont été effectués pour les deux sexes confondus. Lorsque la teneur en Cu de l'aliment est de 25 ppm comme l'impose la

nouvelle réglementation (Règlement (CE) N° 1334/2003 de la Commission du 25 juillet 2003), les rejets des animaux demeurent près de cinq fois supérieurs aux exportations par les plantes. La suppression totale de la supplémentation en Cu, sans abaisser les apports alimentaires en dessous des besoins physiologiques des animaux (NRC, 1998), permet d'équilibrer l'excrétion de Cu par rapport à celle de l'azote. Lorsque l'apport alimentaire de zinc est conforme à la nouvelle réglementation européenne (150 mg/kg aliment), son application annuelle par hectare est plus de huit fois supérieure à l'exportation par les plantes. L'abaissement des apports au niveau des recommandations du NRC (1998) permettrait de diminuer la quantité de Zn épandu à trois fois les exportations par les plantes.

### CONCLUSION

Même si l'augmentation de la concentration corporelle du P et du Ca telle que nous l'avons décrite avec cette base d'échantillons mérite d'être validée, ce type de données peut être utilisé pour maintenir à jour les bases de l'estimation factorielle des besoins en macro-éléments des porcs. Par ailleurs, les résultats de ce travail soulignent les possibilités de réduction des rejets de minéraux, notamment de Cu et de Zn, par la voie alimentaire.

**Tableau 4** - Bilans<sup>a</sup> de Zn et de Cu suivant leur concentration dans les aliments

	Zn	Cu	Zn	Cu
Concentration dans l'aliment (ppm) <sup>b</sup>	150	25	60	6
Ingéré (g/porc)	28,1	4,63	11,20	1,11
Retenu (g/porc)	1,14	0,0769	1,14	0,0769
Retenu (% ingéré)	4,1	1,7	10,1	7,0
Excrété (g/porc)	27,0	4,55	10,1	1,03
Application annuelle lors de l'épandage du lisier <sup>c</sup>				
(kg/ha)	1,67	0,282	0,625	0,0639
(% exportation par les cultures) <sup>d</sup>	835	470	313	107

<sup>a</sup> Les bilans ont été calculés à partir des données moyennes du tableau 3, en ne modifiant que les teneurs en Zn et Cu des aliments

<sup>b</sup> Zn : 150 ppm, règlement CE 1334/2003 de la Commission du 25 juillet 2003 ; 60 ppm, besoins physiologiques (NRC, 1998)

Cu : 25 ppm, règlement CE 1334/2003 de la Commission du 25 juillet 2003 ; 6 ppm, apport par les matières premières (> besoins physiologiques (NRC, 1998)).

<sup>c</sup> Pour une application annuelle de 170 kg N/ha, en tenant compte de la volatilisation de 30 % de l'azote excrété

<sup>d</sup> exportation par les cultures (kg/ha) : N = 170 ; Zn = 0,200 et Cu = 0,060

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été conduit dans le cadre du programme Porcherie Verte dont il a reçu un soutien financier. Les

auteurs remercient l'Institut Nacional de Investigación Agrária du Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación (Espagne) pour son soutien financier (INIA SC98-052) et l'attribution d'une bourse de recherches à J. GONZALEZ.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC, 1990. Official methods of analysis. 15<sup>th</sup> edition, AOAC, Washington DC, 1230 p.
- CRENSHAW T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. In: Lewis A.J., Southern L.L. (Eds.), Swine nutrition (2<sup>nd</sup> Ed.). CRC Press, Washington, DC, 187-212.
- FANDREJEWSKI H., RYMARZ A., 1986. Livest. Prod. Sci., 14, 211-215.
- GEORGIEVSKII V.I., 1982. Mineral composition of bodies and tissues of animals. In: Georgievskii V.I., Annenkov B.N., Samokhin V.I. (Eds), Studies in the agricultural and food sciences, Mineral nutrition of animals. Butterworths, London, 69-78.
- GU Y., SCHINCKEL A.P., MARTIN T.G., 1992. J. Anim. Sci., 70, 1719-1729.
- GUEGUEN L., PEREZ J.M., 1981. Proc. Nutr. Soc., 40, 273-278.
- HENDRIKS W.H., MOUGHAN P.J., 1993. Livest. Prod. Sci., 33, 161-170.
- JONGBLOED A.W., EVERTS H., 1992. Netherlands J. Agric. Sci., 40, 123-136.
- KIRCHGESSNER M., KREUZER M., ROTH F.X., 1994. Arch. Anim. Nutr., 46, 327-337.
- MAHAN D.C., NEWTON E.A., 1995. J. Anim. Sci., 73, 151-156.
- MAHAN D.C., SHIELDS R.G. Jr., 1998. J. Anim. Sci., 76, 506-512.
- NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine. (10<sup>th</sup> Ed.) National Academy Press, Washington, DC.
- PATIENCE J.F., ZIJLSTRA R.T., 2001. Sodium, potassium, chloride, magnesium, and sulfur in swine nutrition. In: Lewis A.J., Southern L.L. (Eds.), Swine nutrition (2<sup>nd</sup> Ed.). CRC Press, Washington, DC, 213-227.
- RYMARZ A., FANDREJEWSKI H., KIELANOWSKI J., 1982. Livest. Prod. Sci., 9, 399-408.
- SAS, 1990. SAS/STAT, User's Guide (Release 6.07) SAS Inst. Inc. Cary, NC, USA.
- TIBAU J., GONZALEZ J., SOLER J., LIZARDO R., MOUROT J., 2002. Journées Rech. Porcine, 34, 121-127.

