

## Variabilité intra-matière première de la digestibilité du phosphore des céréales et du pois chez le porc en croissance

*Fabien SKIBA (1), Patrick CALLU (1), Julien CASTAING (2), Frédéric PABOEUF (3),  
Jacques CHAUVEL (4), Catherine JONDREVILLE (5)*

*(1) ARVALIS-Institut du Végétal, 41100 Villerable*

*(2) ADAËSO, 64121 Montardon*

*(3) Chambres d'Agriculture de Bretagne, 22195 Plérin*

*(4) ITP, 35651 Le Rheu*

*(5) INRA-UMRVP, 35590 Saint-Gilles*

### **Variabilité intra-matière première de la digestibilité du phosphore des céréales et du pois chez le porc en croissance**

Nous avons conduit un essai sur des porcs en croissance (45-49 kg) dans le but d'évaluer la variabilité intra et inter matière première de la digestibilité du phosphore total (CUD P) et du phosphore phytique du blé, du triticale, de l'orge, du maïs et du pois. La variabilité de la digestibilité du phosphore intra-matière première est faible à l'exception du maïs qui est un peu plus variable. Le blé, le triticale et le pois présentent des CUD P (respectivement 52,0, 51,0, 49,0 %) supérieurs à l'orge (41,5 %) puis au maïs (27,3 %) qui présente les digestibilités les plus faibles. Toutefois deux variétés de maïs à faibles teneurs en phosphore phytique présentent des CUD P élevés (53,4 %). La hiérarchie des digestibilités du phosphore entre les matières premières observée par d'autres auteurs est ainsi confirmée. L'activité phytasique apparaît comme un prédicteur de la teneur en phosphore digestible dans le cas des céréales à paille alors que c'est la teneur en phosphore phytique qui ressort dans le cas du maïs et du pois. Les digestibilités fécales du phosphore phytique sont très élevées et ne permettent pas de montrer des différences intra ou inter matières premières.

### **Intra and inter raw material variations in phosphorus digestibility of several cereals and peas in growing pigs**

A trial was undertaken, using growing pigs (45-49kg), in order to estimate the intra and inter feedstuff variability of the digestibility of total phosphorus (P) and phytate P in wheat, triticale, barley, maize and peas. The intra feedstuff variability of P digestibility was generally low; however P digestibility in maize was more variable. Wheat, triticale and peas had the highest P digestibilities (respectively 52.0, 51.0, 49.0%), barley was intermediate (41.5%) and maize had the lowest value (27.3%). However, two of the maize varieties tested, which had low phytate P levels, had high P digestibility values (53.4%). The ranking of P digestibility between different feedstuffs was consistent with what previously observed by other authors. Phytase activity appeared to be a good criterion with which to predict P digestibility in wheat, triticale and barley, while phytate P was a good predictor in the case of maize and peas. Faecal phytate P digestibilities were very high and no intra or inter feedstuff differences were observed.

## INTRODUCTION

Afin de limiter les rejets de phosphore des porcs dans l'environnement, plusieurs voies peuvent être suivies. Parmi celles-ci, nous avons plus spécifiquement travaillé sur la diminution des rejets par la voie alimentaire. Celle-ci nécessite une bonne connaissance des besoins des animaux (CASTAING et al., 2003) mais aussi de la digestibilité des aliments et donc des matières premières qui les composent. Une première série de résultats a été publiée sur la digestibilité de différentes matières premières entrant dans la composition des aliments des porcs (SKIBA et al., 2000). Des différences importantes ont été enregistrées entre les différents types de matières premières. Toutefois, lorsque l'on compare les résultats de chaque matière première avec ceux figurant dans la bibliographie, des différences importantes peuvent apparaître. Pour avancer dans la connaissance de la digestibilité du phosphore des matières premières, nous avons donc choisi d'étudier, dans cet essai, la variabilité de la digestibilité du blé, du triticale, du maïs, de l'orge et du pois qui constituent les éléments de base de la formulation des aliments pour les porcs.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Matières premières et aliments expérimentaux

Les matières premières retenues pour cette étude sont le blé, le triticale, l'orge, le maïs et le pois. Les critères de sélection des lots sont, d'une part, de disposer d'une plage assez large d'activité phytasique pour chaque type de céréale à paille puisque ce critère est un prédicteur de la digestibilité du phosphore (BARRIER-GUILLOT et al., 1996b ; SKIBA et al., 2000). Ensuite nous souhaitons disposer de lots à teneurs en phosphore total proches et en option que ces variétés soient parmi les plus cultivées. C'est ainsi que nous avons sélectionné quatre lots représentant quatre variétés de blés. Dans le cas du triticale, nous avons choisi les quatre variétés les plus cultivées en 2000. Dans le cas de l'orge, nous avons constaté que les variétés de printemps présentent une activité phytasique supérieure à celle des variétés d'hiver. Nous avons donc choisi deux variétés de chaque type parmi les plus cultivées. Dans le cas du maïs, nous avons choisi quatre variétés dont deux présentent un faible niveau de phosphore phytique (variétés dites « low phytate »). Enfin dans le cas du pois, nous nous sommes procurés les trois variétés de pois de printemps les plus cultivées en 2000. Par ailleurs, nous avons choisi de passer en digestibilité un « témoin » constitué par du phosphate monocalcique (SCPA) afin de comparer la valeur obtenue dans cet essai avec celles de la bibliographie.

Vingt aliments sont constitués afin de mesurer la digestibilité des matières premières sélectionnées. Elles sont introduites à un taux situé entre 97 et 98 % excepté le pois (50 %) et le phosphate monocalcique (0,5 % soit 30 % du P total apporté). On ajoute à ces matières premières 0,5 % d'un complément minéral et vitaminé dépourvu de phosphore et de calcium. Le complément à 100 % est assuré d'une part, par un apport de carbonate de calcium (1,5 à 1,7 % du régime) calculé pour un apport de 6 g par kg d'aliment, d'autre part

pour les pois et le phosphate monocalcique, par le lot de maïs 548 dont la digestibilité du phosphore est mesurée dans cette étude afin de pouvoir effectuer un calcul par différence. Cette méthodologie, qui est identique à celle utilisée par JONGBLOED et KEMME (1990) a servi de base à l'acquisition des valeurs de digestibilité du phosphore figurant dans les tables CVB (1999). Les matières premières sont broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux à la grille de 4 mm (3000 tours  $\text{min}^{-1}$  soit  $64 \text{ ms}^{-1}$ ) et les aliments sont présentés sous forme de farine.

### 1.2. Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques des matières premières sont réalisées en suivant les méthodes décrites dans le programme 81 « analyses des aliments pour animaux » du COFRAC (laboratoire ARVALIS-Institut du végétal de Boigneville accrédité ISO EN 17025). Les fèces sont analysées en utilisant les mêmes techniques analytiques.

### 1.3. Mesures de digestibilité fécale apparente

Chaque aliment est distribué à 5 porcs charcutiers mâles (castrés) de génotype Naïma x P76 pesant 45 à 49 kg lors des bilans digestifs. Après une période de deux à trois jours d'adaptation aux cages, les animaux consomment l'aliment expérimental pendant 19 jours. Les fèces sont collectées intégralement pendant les 5 derniers jours et conservés à  $-18^{\circ}\text{C}$ . Pendant toute la période de l'essai, les animaux reçoivent l'aliment deux fois par jour sous forme de farine humidifiée à l'auge au moment des repas (1,5 volume d'eau pour un volume de farine) à raison d'environ 3,5 % de leur poids vif. Les quantités de matière sèche ingérées et excrétées sont mesurées individuellement et quotidiennement. Le phosphore est dosé dans les fèces après homogénéisation, échantillonnage et lyophilisation. Le phosphore est également dosé dans les urines. La digestibilité fécale apparente du phosphore des céréales (CUD P) est calculée directement à partir des bilans et celle du pois et du phosphate monocalcique par différence avec la base constituée du lot de maïs 548 de l'étude. Les données sont traitées par analyse de variance suivant un dispositif en randomisation totale avec 5 répétitions par traitement. Des pools de fèces sont constitués à partir des échantillons individuels en prélevant, pour chaque animal, une quantité proportionnelle à la quantité de matière sèche excrétée. Ces pools permettent de calculer l'utilisation digestive du phosphore phytique (CUD P<sub>phyt</sub>) et de comparer, dans le cas du phosphore total, les données individuelles aux données des pools. Les données de composition chimique ainsi que les digestibilités des matières premières végétales ont servi à constituer une matrice de corrélation dont les résultats les plus importants sont rapportés dans le chapitre suivant.

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Composition chimique des matières premières

Trois des quatre lots de blé ont des teneurs en phosphore total (P<sub>tot</sub>) comprises entre 3,6 et 3,7 g/kg MS, le lot Isengrain présentant la teneur la plus faible (3,0 g/kg MS).

La teneur en P phytique (Pphyt) va de 1,8 à 2,6 g/kg MS. Ainsi le rapport Pphyt/Ptot est compris entre 50 % pour le lot Trémie et 70 % pour les trois autres. Les valeurs d'activité phytasique vont de 700 à 1020 U/kg MS soit un coefficient de variation (CV) de 15 % (tableau 1).

Les triticales présentent des teneurs en Ptot voisines (3,7 à 4,0 g/kg MS) et des teneurs en Pphyt allant de 2,1 à 2,6 g/kg MS d'où des rapports Pphyt/Ptot variant de 57 à 67 %. Les valeurs d'activité phytasique s'échelonnent de 1510 à 2340 U/kg MS.

Les quatre orges présentent des teneurs en Ptot comprises entre 3,4 et 3,9 g/kg MS. Par contre les teneurs en Pphyt des variétés de printemps (1,7 g/kg MS pour Alexis et Scarlett) sont inférieures à celles des variétés d'hiver (2,4 et 2,6 g/kg MS pour Nikel et Platine). Ces différences de Pphyt se retrouvent dans les rapports Pphyt/Ptot qui sont compris entre 45 et 40% pour les variétés de printemps et 63 à 67%

pour celles d'hiver. Cette différence hiver-printemps se retrouve sur les activités phytasiques avec cette fois-ci des valeurs supérieures pour les variétés de printemps (810 et 920 U/kg MS pour Alexis et Scarlett vs 390 et 470 U/kg MS pour Nikel et Platine).

Les teneurs en Ptot des quatre lots de maïs sont assez variables puisqu'elles vont de 2,9 à 3,7 g/kg MS, la valeur la plus faible étant enregistrée pour le lot 548. Conformément au choix des lots, deux des lots de maïs présentent de faibles teneurs en Pphyt (0,4 g/kg MS pour AAP et P) alors que les deux autres lots présentent des teneurs allant de 1,8 à 2,5 g/kg MS (548 et AA). Ceci se traduit par des rapports Pphyt/Ptot allant de 62 à 67% pour 548 et AA à 11-12% pour AAP et P. Les activités phytasiques mesurées sont faibles et inférieures à 90 U/kg MS.

Dans le cas des lots de pois, les teneurs en Ptot vont de 4,0 à 4,4 g/kg MS et les teneurs en Pphyt de 1,0 à 1,3 g/kg MS.

**Tableau 1** - Composition chimique des lots de matières premières (g ou U/kg MS)

Matière première	Variété	MS	MAT	MM	Amidon Ewers	CB	Parois	NDF	ADF	ADL	Ca	Ptot	Pphyt	Pphyt/Ptot (%)	Act. Phyt.
Blé	Isengrain	870	119	15,7	700	25,7	106	120	32,3	10,3	0,4	3,0	2,1	70	894
	Altria	868	122	17,4	685	26,3	126	133	38,8	11,7	0,4	3,7	2,6	70	702
	Aztec	865	128	15,6	676	21,3	107	128	32,3	13,4	0,4	3,6	2,5	69	904
	Trémie	856	143	17,6	654	26,2	116	137	37,2	12,7	0,5	3,6	1,8	50	1023
	Moy et	865 6	128 10	16,6 1,1	679 19	24,9 2,4	114 10	130 7	35,2 3,4	12,0 1,3	0,4 0,0	3,5 0,3	2,3 0,4	65 10	881 133
Triticale	Trimaran	860	113	22,7	697	26,7	110	124	33,8	15,5	0,6	4,0	2,5	63	1742
	Tricolor	858	112	19,0	704	21,6	101	116	28,5	10,9	0,5	3,9	2,6	67	2342
	Carnac	841	103	19,5	681	30,4	135	130	35,7	11,2	0,4	3,7	2,1	57	1512
	Ampiac	830	98	20,8	701	28,8	122	139	38,6	12,4	0,4	3,9	2,3	59	1540
	Moy et	847 15	106 7	20,5 1,7	696 10	26,9 3,8	117 15	127 10	34,2 4,3	12,5 2,1	0,5 0,1	3,9 0,1	2,4 0,2	61 4	1784 386
Orge	Nikel	871	102	28,9	578	54,9	189	208	67,3	9,5	0,6	3,8	2,4	63	389
	Platine	859	116	24,4	600	52,0	168	194	58,8	9,6	0,5	3,9	2,6	67	466
	Alexis	863	91	25,5	637	43,7	151	203	57,3	16,0	0,4	3,8	1,7	45	806
	Scarlett	860	81	20,3	649	40,5	154	194	56,7	16,2	0,5	3,4	1,7	50	916
	Moy et	863 6	98 15	24,8 3,5	616 33	47,8 6,8	166 17	200 7	60,0 4,9	12,8 3,8	0,5 0,1	3,7 0,2	2,1 0,5	56 10	644 256
Maïs	Maïs 548	838	80	12,2	748	19,1	88	112	25,8	8,0	0,1	2,9	1,8	62	16
	Maïs AA	873	107	15,2	697	21,9	91	101	25,5	7,1	0,1	3,7	2,5	68	85
	Maïs AAP	863	117	14,4	686	24,0	92	107	28,5	5,8	0,1	3,5	0,4	11	60
	Maïs P	871	111	13,8	692	29,8	112	137	36,0	8,8	0,1	3,3	0,4	12	36
	Moy et	861 16	104 17	13,9 1,3	705 29	23,7 4,5	96 11	114 16	29,0 4,9	7,4 1,3	0,1 0,0	3,4 0,3	1,3 1,1	38 31	49 30
Pois	Badminton	863	241	31,1	527	58,4	140	137	69,8	2,8	0,8	4,0	1,0	25	242
	Baccara	854	255	32,1	500	56,7	158	144	65,8	9,6	0,8	4,1	1,3	32	165
	Athos	822	257	34,0	511	64,3	153	148	76,4	9,1	0,9	4,4	1,2	27	132
	Moy et	846 22	251 8	32,4 1,5	513 13	59,8 4,0	151 9	143 6	70,7 5,4	7,2 3,8	0,8 0,1	4,2 0,2	1,2 0,2	28 3	180 56
	Phosphate monocalcique	980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	149	189	-	-

Ptot : phosphore total ; Pphyt : phosphore phytique ; Pphyt/Ptot : rapport Pphyt sur Ptot ; Act. Phyt. : activité phytasique  
Moy : moyenne ; et : écart-type de l'échantillonnage

**Tableau 2** - Composition chimique des aliments (g ou U/kg MS) et digestibilité des matières premières

Matière première	Variété	Caractéristiques analytiques des aliments					Digestibilité des matières premières								
		Ca	Ptot	Pphyt	Act. Pphyt	Act. Phyt. Alt/MP	Poids MS (kg)	MS ingérée (g/j)	P ingéré (g/j)	P excrété (g/j)	CUD MS (%)	CUD P (%)	Pdig (g/kg MS)	CUD pool (%)	CUD Pphyt (%)
Blé	Isengrain	6,1	3,3	2,2	713	80	47	1405	4,6	2,1	90,4 <sup>a</sup>	55,0 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	57	88
	Altria	6,4	3,7	2,7	676	96	46	1385	5,1	2,7	87,4 <sup>b</sup>	47,1 <sup>b</sup>	1,7 <sup>ab</sup>	48	85
	Aztec	6,1	3,7	2,5	792	88	48	1417	5,2	2,6	89,5 <sup>ab</sup>	50,2 <sup>ab</sup>	1,8 <sup>ab</sup>	49	92
	Trémie	5,8	3,7	2,1	945	92	48	1427	5,3	2,3	87,5 <sup>b</sup>	55,6 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>	57	92
	Proba	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	**	*	*	-	-
	Moy et ou ETR	6,1	3,6	2,4	782	-	47	1409	5,1	2,4	88,7	52,0	1,8	53	89
Triticale	Trimaran	5,8	4,2	2,7	1269	73	48	1397	5,9	2,9	88,8 <sup>ab</sup>	50,2	2,0	49	90
	Tricolor	5,8	4,1	2,5	2015	86	49	1474	6,0	2,8	89,9 <sup>a</sup>	53,6	2,1	53	88
	Carnac	5,3	3,9	2,3	1289	85	49	1445	5,6	2,8	88,2 <sup>b</sup>	51,3	1,9	54	91
	Ampiac	6,2	4,1	2,2	1302	85	48	1423	5,8	3,0	87,4 <sup>b</sup>	48,9	1,9	50	87
	Proba	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	-	-
	Moy et ou ETR	5,8	4,1	2,4	1469	-	48	1435	5,8	2,9	88,6	51,0	2,0	51	89
Orge	Nikel	6,5	3,8	2,1	204	52	46	1329	5,1 <sup>ab</sup>	3,1	78,7 <sup>b</sup>	38,9	1,5 <sup>bc</sup>	41	87
	Platine	6,1	4,2	2,3	328	70	49	1452	6,1 <sup>a</sup>	3,3	80,9 <sup>ab</sup>	45,1	1,8 <sup>a</sup>	48	88
	Alexis	6,0	3,8	2,2	410	51	48	1441	5,5 <sup>ab</sup>	3,2	82,4 <sup>a</sup>	42,2	1,6 <sup>ab</sup>	46	86
	Scarlett	6,8	3,5	2,0	484	53	45	1281	4,5 <sup>b</sup>	2,7	80,0 <sup>ab</sup>	39,9	1,4 <sup>c</sup>	44	96
	Proba	-	-	-	-	-	NS	NS	*	NS	*	NS	***	-	-
	Moy et ou ETR	6,4	3,8	2,1	357	-	47	1376	5,3	3,1	80,5	41,5	1,6	45	89
Maïs	Maïs 548	6,8	2,7	1,8	11	69	45	1381	3,2 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	89,5	22,9 <sup>c</sup>	0,6 <sup>c</sup>	11	94
	Maïs AA	6,9	3,5	2,4	67	79	47	1428	4,8 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a</sup>	88,8	31,7 <sup>b</sup>	1,2 <sup>b</sup>	30	100
	Maïs AAP	6,8	3,5	0,3	33	55	48	1389	5,0 <sup>a</sup>	2,4 <sup>b</sup>	88,3	52,5 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	53	76
	Maïs P	6,9	3,2	0,2	36	100	48	1217	4,4 <sup>a</sup>	2,0 <sup>b</sup>	87,6	54,3 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	55	57
	Proba	-	-	-	-	-	NS	NS	**	**	NS	***	***	-	-
	Moy et ou ETR	6,8	3,2	1,2	37	-	47	1354	4,4	2,5	88,6	40,3	1,4	37	82
Pois	Badminton	7,2	3,3	1,4	119	49	47	1425	4,7	3,0	92,1	41,7	1,7	41	115
	Baccara	6,9	3,4	1,6	55	33	48	1423	4,8	2,9	91,1	50,4	2,1	44	115
	Athos	6,8	3,5	1,6	110	83	47	1285	4,5	2,6	90,6	55,0	2,4	50	122
	Proba	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,06	-	-
	Moy et ou ETR	7,0	3,4	1,5	95	-	48	1378	4,7	2,8	91,3	49,0	2,1	45	117
	et ou ETR	0,2	0,1	0,1	35	-	7	190	0,7	0,6	3,1	10,9	0,5	-	-
P. mono	6,7	4,1	1,9	0	-	46	1379	5,7	3,4	-	87,8	165,8	-	-	

Ptot : phosphore total ; Pphyt : phosphore phytique ; Act. Phyt. : activité phytasique ; Act. Phyt. Alt/MP : rapport entre les activités phytasiques de l'aliment et de la matière première

Moy : moyenne ; et : écart-type de l'échantillonnage

Proba : NS :  $P > 0,10$  ; \* :  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$  ; ETR : écart type résiduel pour l'analyse variance

a, b, c : groupes homogènes par le test de Newman et Keuls

Ceci se traduit par des rapports Pphyt/Ptot allant de 25 à 32 %. Les activités phytasiques vont de 130 (Athos) à 240 U/kg MS (Badminton).

## 2.2. Composition chimique des aliments

Les teneurs en Ptot mesurées dans les aliments sont, en général, supérieures aux valeurs attendues d'après les mesures réalisées sur les matières premières (tableau 2). Par contre, dans le cas du calcium (Ca), c'est l'inverse.

Dans les deux cas, c'est avec les régimes à base de blé, triticale et orge que les différences sont les plus importantes. Dans le cas du Pphyt, les valeurs des aliments correspondent assez bien aux valeurs attendues d'après les teneurs des matières premières. C'est dans le cas des mesures d'activité phytasique que les pertes sont les plus importantes, en passant de la matière première à l'aliment, puisque dans le cas des triticales, ce sont des différences de 14 à 33 % qui apparaissent et qui atteignent 30 à 50 % dans le cas de l'orge.

### 2.3. Digestibilité des matières premières

Que ce soit intra ou inter matières premières, tous les animaux présentent des poids comparables (47 à 48 kg en moyenne) et ingèrent des niveaux comparables de matière sèche (1350 à 1440 g/jour). La quantité de P ingéré varie de 4,4 g/jour pour le maïs à 5,8 g/jour pour le triticale. Toutefois intra-matière première, on observe des différences significatives dans le cas de l'orge (4,5 à 6,1 g/jour) et du maïs (3,2 à 5,0 g/jour). Une mesure d'excrétion urinaire de phosphore effectuée sur environ deux animaux ayant consommé chaque régime montre que les excréments urinaires sont nulles.

Dans le cas du blé, on observe des différences significatives sur le coefficient d'utilisation digestive du phosphore (CUD P), les blés Isengrain et Trémie présentant des valeurs supérieures à Altria, Aztec se trouvant en position intermédiaire (respectivement 55,0, 55,6, 47,1 et 50,2 %). La valeur moyenne est de 52 %. Les mêmes conclusions peuvent être tirées à partir des valeurs de CUD de la matière sèche (CUD MS) avec une moyenne à 88,7 %. Les teneurs en phosphore digestible (Pdig) des blés vont de 1,7 (lots Isengrain et Altria) à 2,0 g/kg MS (lot Trémie) ( $P < 0,05$ ) avec une moyenne à 1,8 g/kg MS. Les CUD P des pools sont très voisins des données individuelles (moyenne 52,7 %) alors que les CUD du phosphore phytique (CUD Pphyt) sont compris entre 88 et 92 % (moyenne 89 %).

Dans le cas du triticale, on observe des valeurs de CUD MS allant de 87,4 à 89,9 % ( $P < 0,05$ ) suivant les lots (moyenne 88,6 %). Ces différences significatives ne se retrouvent pas sur le CUD P qui va de 48,9 à 53,6 % (valeur moyenne de 51 %) ni sur le Pdig qui va de 1,9 à 2,1 g/kg MS (moyenne 2,0 g/kg MS). Les CUD P des pools sont identiques aux données individuelles avec une moyenne à 51,5 %. Les CUD Pphyt des pools sont compris entre 87 et 91 % (moyenne 89 %).

Pour l'orge, les CUD MS vont de 78,7 à 82,4 % ( $P < 0,05$ ) avec une moyenne à 80,5 %. Les CUD P ne sont pas significativement différents et vont de 38,9 à 45,1 % (moyenne 41,5 %), par contre des différences significatives apparaissent sur les teneurs en Pdig (1,4 à 1,8 g/kg MS,  $P < 0,001$ )

avec une valeur moyenne de 1,6 g/kg MS. Les CUD des pools sont assez proches des valeurs individuelles (moyenne 44,8 %) quant aux CUD Pphyt, ils vont de 86 à 96 % (moyenne 89 %).

Les différents lots de maïs ne présentent pas des CUD MS différents (moyenne 88,6 %). Des différences importantes apparaissent sur les CUD P puisque les lots AAP et P présentent des CUD P de 52,5 % et 54,3 % contre 22,9 % et 31,7 % pour les lots 548 et AA ( $P < 0,001$ ). Ces différences se retrouvent sur les teneurs en Pdig qui sont de 1,8 g/kg MS pour les lots AAP et P contre 0,6 et 1,2 g/kg MS pour les lots 548 et AA ( $P < 0,001$ ). Les CUD des pools présentent des valeurs comparables aux données individuelles, excepté pour le lot 548 pour lequel la différence est la plus grande. Les valeurs de CUD Pphyt vont de 57 à 100 % avec des valeurs plus faibles pour les lots dont le CUD P est le plus fort.

Dans le cas des lots de pois, on n'observe pas de différence significative entre les trois lots sur le CUD MS (moyenne 91,3 %) ni sur les CUD P qui vont de 41,7 à 55 % (moyenne 49 %). Une tendance ( $P = 0,06$ ) est observée sur les teneurs en Pdig qui vont de 1,7 à 2,4 g/kg MS (moyenne 2,1 g/kg MS). Les données de CUD P des pools sont voisines des données individuelles (moyenne 45 %). Les données de CUD Pphyt sont toutes supérieures à 100 % (moyenne 117 %).

Enfin le phosphate monocalcique présente un CUD P de 87,8 % et une teneur en Pdig de 166 g/kg MS.

### 2.4. Comparaison des digestibilités intermatières premières

Lorsque l'on compare les trois céréales à paille (blé, triticale et orge), on constate que c'est l'orge qui se différencie du blé et du triticale par un CUD MS, un CUD P (41,6 vs 52 et 51 %,  $P < 0,001$ ) et une teneur en Pdig inférieures (1,6 vs 1,8 et 2,0 g/kg MS, NS). La matrice de corrélation établie à partir de ces 12 matières premières fait apparaître que les CUD MS sont corrélés négativement aux fibres ( $r = -0,94$  à  $-0,99$  suivant critères ;  $P < 0,001$ ) et positivement à l'amidon ( $r = 0,89$  ;  $P < 0,001$ ) et à l'activité phytasique ( $r = 0,62$  ;  $P < 0,05$ ). Les critères de digestibilité du phosphore (CUD P et P digestible) sont reliés négativement aux critères fibres

**Tableau 3** - Comparaison des digestibilités intermatières premières

	Poids collecte (kg)	CUD MS (%)	P ingéré (g/j)	CUD P (%)	P digestible (g/kg MS)
Blé	47,4	88,7 <sup>a</sup>	5,1 <sup>ab</sup>	52,0 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>
Orge	46,8	80,5 <sup>c</sup>	5,3 <sup>ab</sup>	41,6 <sup>b</sup>	1,6 <sup>a</sup>
Triticale	48,3	88,6 <sup>ab</sup>	5,9 <sup>a</sup>	51,0 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>
Maïs	46,2	89,2 <sup>a</sup>	4,0 <sup>b</sup>	27,3 <sup>c</sup>	0,9 <sup>b</sup>
Maïs low phytate	48,2	88,0 <sup>b</sup>	4,7 <sup>ab</sup>	53,4 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>
Pois	47,5	91,3 <sup>a</sup>	4,7 <sup>ab</sup>	49,0 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>
Proba	NS	***	*	***	***
ETR	1,1	1,2	0,5	4,1	0,2

Proba : NS :  $P > 0,10$  ; \* :  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$

ETR : écart type résiduel pour l'analyse variance

a, b, c : groupes homogènes par le test de Newman et Keuls

( $r=-0,82$  à  $-0,90$  ;  $P<0,001$  pour CUD P) et positivement au CUD MS ( $r=0,90$  à  $0,73$  ;  $P<0,01$ ). Il existe également une corrélation faible entre CUD P (et Pdig) et le poids des animaux au moment de la collecte des fèces ( $r=0,64$  ;  $P<0,05$ ) bien que celui-ci varie dans une plage assez faible (45 à 49 kg). Il n'y a pas de corrélation entre le CUD P et le P ingéré ( $r=0,23$  ; NS). Il existe une corrélation ( $r=0,73$  ;  $P<0,01$ ) entre le Pdig et l'activité phytasique, cette relation n'étant pas significative avec le CUD P ( $r=0,55$ ).

Si on ajoute à la comparaison les 4 lots de maïs et les trois lots de pois, on constate que les deux lots de maïs à basse teneur en Pphyt présentent un CUD P (53,4 %) et une teneur en Pdig (1,8 g/kg MS) identiques au blé et au triticale. Par contre, les deux lots de maïs « conventionnels » présentent le CUD P (27,3 %) et le Pdig (0,9 g/kg MS) les plus faibles des matières premières testées dans cet essai. Les lots de pois présentent, pour leur part, un CUD P (49,0%) et une teneur en Pdig (2,1 g/kg MS) identiques au blé et au triticale. Quand on regarde la matrice de corrélation reliant les critères chimiques aux paramètres de digestibilité pour ces 19 matières premières, on trouve, cette fois-ci, une corrélation positive entre Pphyt et activité phytasique ( $r=0,56$  ;  $P<0,05$ ) que l'on ne trouvait pas intra-céréales. On retrouve aussi des corrélations entre CUD MS et les parois ( $r=-0,60$  ;  $P<0,01$ ), le NDF ( $r=-0,85$  ;  $P<0,001$ ) ou la teneur en protéines de la matière première ( $r=0,49$  ;  $P<0,05$ ). Il existe également une corrélation faible entre CUD P (et Pdig) et le poids de collecte ( $r=0,63$  ;  $P<0,01$ ), par contre on ne retrouve plus de relation significative entre le Pdig ou le CUD P et l'activité phytasique des matières premières.

### 3. DISCUSSION

Les valeurs d'activité phytasique enregistrées dans cet essai pour les lots de blé, de triticale et d'orge sont élevées et supérieures aux données de BARRIER-GUILLOT et al. (1996a) mais voisines de celles de ECKHOUT et DE PAEPE (1994) ou de NYS et al. (1996). L'observation selon laquelle les variétés d'orges de printemps présentent des activités phytasiques supérieures et des teneurs en Pphyt inférieures aux variétés d'hiver mériterait d'être vérifiée. Pour ce qui est des teneurs en Ptot ou Pphyt, elles sont dans les ordres de grandeur des valeurs citées par les mêmes auteurs. Les teneurs en Pphyt des deux lots de maïs « low phytate » sont cohérentes avec les valeurs de SPENCER et al. (2000). En ce qui concerne les lots de pois, les valeurs de Ptot sont comprises entre celles de MAUPETIT et GATEL (1992) et celles de BARRIER-GUILLOT et al. (1994). Toutefois, le rapport Pphyt/Ptot est plus voisin de celui décrit par MAUPETIT et GATEL (1992) en raison d'une faible teneur en Pphyt des lots. On ne retrouve pas les relations mises en évidence par BARRIER-GUILLOT et al. (1994 et 1996a) entre le Pphyt et le Ptot dans le cas du pois, du triticale et du blé.

En ce qui concerne les aliments, malgré plusieurs analyses réalisées de façon contemporaine sur la matière première et l'aliment, il ne nous est pas possible d'expliquer les différences importantes (non imputables à la seule dilution) que nous observons, en particulier, entre les aliments à base de triticale et d'orge et les matières premières correspondantes.

En ce qui concerne les mesures de digestibilité, les analyses des teneurs en P des urines réalisées sur quelques animaux nous permettent de dire que nous sommes au dessous du besoin des animaux. Ceci est confirmé par le calcul des besoins selon la méthode factorielle INRAPorc (données non présentées). Cet aspect, combiné au fait que les niveaux de P ingérés par les animaux ayant consommé les différents régimes sont voisins (exceptés ceux consommant les régimes à base de maïs 548 et AA), permet de dire que l'on minimise les pertes endogènes et qu'elles sont voisines pour les différents régimes (JONGBLOED et KEMME, 1990). On peut souligner qu'alors que les écarts-types résiduels sont très bons (1,5 point environ soit un coefficient de variation de 1,7 %) pour des critères comme le CUD MS, ils sont beaucoup plus forts pour des éléments présents en petite quantité dans les aliments comme le phosphore (5 points environ soit un coefficient de variation de 10 %). Les CUD P des pools obtenus dans cet essai sont très proches de ceux mesurés à partir des données individuelles. Cette technique est donc une bonne alternative, si l'on souhaite réduire les coûts analytiques associés à ce type d'essai, ou faire des investigations sur des composants chers à doser comme le Pphyt. Le CUD P (87,8%) obtenu avec le phosphate monocalcique qui sert de « témoin positif » dans cet essai est en accord avec les résultats (84,7%) de DOURMAD (1999) bien que les méthodologies soient différentes (régime de base semi-synthétique vs régime à base de maïs).

Excepté dans le cas du blé, pour lequel un des quatre lots présente une valeur inférieure aux autres lots, et du maïs, on observe une variabilité intra-matière première faible sur un critère comme la digestibilité du phosphore. On arrive toutefois à trouver, intercéréales à paille, l'activité phytasique comme prédicteur du Pdig ( $r=0,73$ ,  $P<0,01$ ) mais pas du CUD P. Ces résultats sont conformes à ceux de BARRIER-GUILLOT et al. (1996b) ou de SKIBA et al. (2000). Toutefois, toutes matières premières confondues, ce critère n'est pas corrélé au Pdig ou au CUD P. Les valeurs obtenues dans cet essai sur les maïs low phytate sont conformes aux données de SPENCER et al. (2000) qui enregistreraient des CUD P de 48 % pour des maïs avec un rapport Pphyt/Ptot de 35 % contre un CUD P de 16 % pour un maïs classique. Les deux autres lots présentent des CUD P environ deux fois plus faibles et assez différents (22,9 vs 31,7 %) confirmant encore une fois l'hétérogénéité du CUD P des maïs (SKIBA et al., 2000). Dans le cas du maïs la teneur en P phytique (au moins pour des différences importantes) apparaît donc comme un bon prédicteur du CUD P. Il semble en être de même pour le pois ( $r=0,78$  ; NS) puisque les valeurs de digestibilité élevées de celui-ci pourraient s'expliquer par son faible niveau de P phytique.

La hiérarchie des matières premières est conforme à celle que nous avons observée précédemment (SKIBA et al., 2000). Toutefois les valeurs mesurées ici sont supérieures de 5 à 10 points, la seule différence méthodologique entre les deux essais étant le poids des animaux (45-49 kg vs 35-39 kg). Par contre les valeurs de cet essai, qui ont été utilisées pour l'élaboration des tables INRA-AFZ 2002, sont tout à fait conformes aux valeurs moyennes figurant dans les tables CVB (1999) pour le blé (48 %), l'orge (39 %), le maïs (19 %) ou le pois (45 %).

Les valeurs de digestibilité fécale du P<sub>phyt</sub> mesurées dans cet essai sont très élevées et conformes aux valeurs publiées par JONGBLOED et al. (1992) ou SEYNAEVE et al. (2000). Elles signifient qu'il se produit, via la flore, une hydrolyse du P<sub>phyt</sub> dans le gros intestin, le P libéré à ce niveau n'étant pas disponible pour l'animal. Dans ce contexte, seules les mesures de digestibilité du P<sub>phyt</sub> au niveau iléal semblent pouvoir présenter un intérêt.

## CONCLUSION

Les résultats obtenus permettent de dire que la variabilité de la digestibilité du phosphore intra matière première est faible à l'exception du maïs qui est un peu plus variable que les autres. Le blé, le triticale et le pois présentent des CUD P supérieurs à l'orge puis au maïs qui présente les digestibilités les plus faibles. La hiérarchie des digestibilités du phosphore entre les matières premières observée par d'autres auteurs est ainsi confirmée. L'activité phytasique apparaît comme un prédicteur de la teneur en P digestible dans le cas des céréales à paille alors que c'est la teneur en P phytique qui ressort dans le cas du maïs et du pois. Dans ce contexte, les maïs à faible teneur en P phytique présentent donc un fort intérêt. Les valeurs obtenues sont proches des valeurs publiées dans les tables CVB (1999). Par ailleurs ces données ont été prises en compte dans la compilation des don-

nées qui a abouti à la détermination des CUD P présents dans la table INRA-AFZ 2002. L'adéquation entre les apports et les besoins des animaux peut être obtenue en valorisant au mieux les matières premières par l'utilisation des coefficients de digestibilité du phosphore publiés dans les tables INRA-AFZ 2002 et en prenant bien en compte la teneur réelle en P des matières premières. En effet, alors que les digestibilités du P sont peu variables intra matière première, nous avons observé (données non présentées), dans le cas du blé et du triticale, différents facteurs de variation de la teneur en P total (lieu, fertilisation phosphatée voire variété) qui aboutissent à des coefficients de variation de 10 à 15 % sur la teneur en P total. Cet élément serait donc à considérer dans le cadre des plans de contrôle des matières premières.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a fait l'objet d'un soutien financier de la part de l'ACTA et du Ministère de la Recherche (Dossier n°2000/01-3 - Estimation du phosphore digestible) et a été conduit dans le cadre du programme Porcherie Verte.

Nos remerciements vont également à l'équipe technique de la station expérimentale de Pouline ainsi qu'à l'équipe du laboratoire d'analyses biochimiques de Boigneville.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRIER-GUILLOT B., PALA TELES J.C., METAYER J.P., MAUPETIT P., GATEL F., 1994. Colloque Annuel CRITT Valicentre, 93-104, Nouzilly, France.
- BARRIER-GUILLOT B., BARRIER-GUILLOT B., CASADO P., MAUPETIT P., JONDREVILLE C., GATEL F., 1996a. *J. Sci. Food Agric.*, 70, 62-68.
- BARRIER-GUILLOT B., BARRIER-GUILLOT B., CASADO P., MAUPETIT P., JONDREVILLE C., GATEL F., 1996b. *J. Sci. Food Agric.*, 70, 69-74.
- CASTAING J., PABOEUF F., SKIBA F., CHAUVEL J., CAZAUX J.G., VAN MILGEN J., JONDREVILLE C., 2003. *Journées Rech. Porcine*, 35, 47-54.
- CVB, 1999. *Veevoedertabel*. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands, 430p.
- DOURMAD J.Y., 1999. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 73-76.
- EECKHOUT W., DE PAEPE M., 1994. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 47, 19-29.
- MAUPETIT P., GATEL F., 1992. Colloque Annuel CRITT Valicentre, 15-23, Nouzilly, France.
- INRA-AFZ, 2002. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. SAUVANT D., PEREZ J.M., TRAN G. Coord., INRA Eds, Paris, 291p.
- JONGBLOED A.W., KEMME P.A., 1990. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 38, 567-575.
- JONGBLOED A.W., MROZ Z., KEMME P.A., 1992. *J. Anim. Sci.*, 70, 1159-1168.
- NYS Y., FRAPIN D., POINTILLART A., 1996. In *Phytase in animal nutrition and waste management*. M.B. COELHO and E.T. KORNEGAY (eds), BASF, 213-236, USA.
- SEYNAEVE M., JANSSENS G., HESTA M., VAN NEVEL C., DE WILDE R.O., 2000. *J. anim. Physiol. A. Anim. Nutr.*, 83, 193-204.
- SKIBA F., HAZOUARD I., BERTIN J.M., CHAUVEL J., 2000. *Journées Rech. Porcine en France*, 32, 169-175.
- SPENCER J.D., ALLEE G.L., SAUBER T.E., 2000. *J. Anim. Sci.*, 78, 675-681.

