

Influence de la teneur en protéines de l'aliment et de l'addition d'acide benzoïque et de phytase microbienne sur les caractéristiques des effluents chez le porc à l'engraissement

Marie-Line DAUMER (1), Fabrice GUIZIOU (1), Jean-Yves DOURMAD (2)

(1) CEMAGREF, 17, avenue de Cucillé, 35044 Rennes Cedex

(2) INRA UMR SENAH, 35590 Saint-Gilles

Avec la participation technique de Francis Le Gouevrec (2), Vincent Piedvache (2),
Benoît Janson (2), Patricia Saint-Cast (1) et Sylvie Picard (1)

Influence de la teneur en protéines de l'aliment et de l'addition d'acide benzoïque et de phytase microbienne sur les caractéristiques des effluents chez le porc à l'engraissement

Plusieurs études indiquent que la réduction des apports alimentaires en certains nutriments, en particulier en azote et en phosphore, permet de diminuer leur excrétion dans les déjections. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet simultané de différentes stratégies alimentaires, sur les caractéristiques des effluents, la volatilisation de l'ammoniac et la spéciation du phosphore. Six régimes expérimentaux contenant 13 ou 18 % de protéines, supplémentés ou non par de la phytase microbienne sont distribués à des porcs à l'engraissement entre 35 et 61 kg de poids vif. Les animaux sont placés dans de cages de digestibilité de façon à collecter séparément l'urine et les fèces. La vitesse de croissance tend à être supérieure pour les animaux recevant le régime le plus riche en protéines (1050 vs 980), cette différence étant plus marquée pendant les deux premières semaines. L'absence de phytase dans le régime s'accompagne d'une réduction des performances, alors que l'addition d'acide benzoïque est sans effet. La réduction de la teneur en protéines de l'aliment s'accompagne d'une réduction de l'excrétion azotée et du pH de l'urine et du lisier. De même, l'addition d'acide benzoïque entraîne une réduction du pH de l'urine et du lisier, l'effet étant beaucoup plus marqué avec le régime à 13 % de protéines. Ces effets s'accompagnent d'une modification de la volatilisation d'ammoniac mesurée en pilote de laboratoire. Ainsi, relativement au régime à 18 % de protéines non supplémenté en acide benzoïque, la volatilisation diminue de 40 % lorsque la teneur en protéines passe à 13 % et de 20 % lorsque de l'acide benzoïque est ajouté. La combinaison des deux méthodes s'accompagne d'une réduction de 60 % de la volatilisation. Dans le lisier frais la fraction minérale du P représente entre 30 et 35 % du P total. La réduction du taux protéique et l'ajout d'acide benzoïque permettent d'augmenter la fraction de phosphore dissous, vraisemblablement en relation avec les variations de pH, mais celle-ci reste inférieure à 6 %. Après 6 mois de stockage du lisier, la fraction minérale de P s'accroît, la forme solide restant prédominante. Le pouvoir tampon du lisier est le plus faible pour le régime à 13 % de protéines supplémenté en acide benzoïque ce qui peut présenter un intérêt pour le développement de technologies d'extraction du P nécessitant au préalable sa solubilisation. Cette étude confirme l'intérêt de l'alimentation pour la maîtrise des caractéristiques des effluents et des émissions.

Effect of dietary protein content and supplementation with benzoic acid and microbial phytase on the characteristics of the slurry produced by fattening pigs.

Many studies indicate that the reduction of nutrient supplies, especially protein and P, is an efficient way to reduce their excretion in pig slurry. The objective of the present study is to evaluate the effect of simultaneous changes of different nutritional supplies on slurry characteristics including the different form of P, and emissions of ammonia. Six experimental diets containing 13 or 18% crude protein (CP), supplemented or not with microbial phytase and containing 0 or 1 % benzoic acid (BA) were fed to growing pigs from 35 to 65 kg body weight. Animals were housed in metabolic crates in order to allow a separate collection of urine and faeces. Average daily gain tended to be faster in pigs fed 18 % CP (1050 vs 980 g/j), the difference being significant during the first two weeks of the experimental period. Growth performances were decreased in the absence of phytase in the diet whereas they were not affected by BA supplementation. Nitrogen excretion and urine and slurry pH decreased when CP was reduced. In the same way the addition of BA reduced urine and slurry pH, the effect being more marked with the 13 % than with the 18 % CP diet. These effects result in modifications of ammonia volatilisation measured in a pilot scale laboratory system. Compared to the 18 % CP treatment without BA supplementation, ammonia emission is reduced by 40 % with the 13 % CP diet, by 20 % with addition of BA and by 60 % when both techniques are used simultaneously. In the fresh slurry, about 30 to 35 % of total P is present in the mineral form. Although the reduction of CP and the addition of BA increase the proportion of soluble mineral P, in connection with the reduction of pH, it remains below 6 % in all treatments. After 6 month storage, the mineral fraction increases, but the solid fraction remains the most important. Buffering capacity of slurry is the lowest for the 13 % CP treatment with BA. This could be of interest for the development of technologies for P extraction, which requires an initial phase of P solubilisation. This study confirms the interest of nutritional approaches for the manipulation of slurry characteristics and the reduction of ammonia emissions.

INTRODUCTION

Plusieurs études indiquent que la réduction des apports alimentaires en certains nutriments, en particulier en azote et en phosphore, permet de diminuer leur excrétion dans les déjections (Dourmad et Jondreville, 2006). Cette réduction s'accompagne également d'une modification des caractéristiques physico-chimiques des effluents qui peut influencer leur devenir ultérieur. Ainsi, la baisse de la teneur en protéines du régime réduit la teneur en azote ammoniacal et diminue le pH des effluents, ces deux phénomènes limitant la volatilisation de l'ammoniac dans le bâtiment et au cours du stockage et de l'épandage (Portejoie et al., 2004). De la même façon la réduction de l'équilibre électrolytique du régime ou l'incorporation de certains composés comme l'acide benzoïque ou le benzoate de Ca permettent de réduire le pH de l'urine et par conséquent la volatilisation d'ammoniac (Canh et al., 1999 ; Guingand et al., 2005).

Dans le cas du phosphore, l'utilisation de phosphates plus digestibles et/ou de phytase microbienne permet de diminuer fortement les apports et les rejets, mais peu d'études se sont intéressées jusqu'à présent à l'effet éventuel sur la répartition des différentes formes dans l'effluent. Par ailleurs, des interactions peuvent exister avec le pH, ce dernier influençant la solubilité du phosphore.

Les émissions d'ammoniac (Portejoie et al., 2004) et les excès de phosphore constituent aujourd'hui les principaux problèmes environnementaux de beaucoup d'élevages porcins. L'alimentation peut contribuer à réduire ces effets. Toutefois des procédés d'extraction du phosphore s'avèrent de plus en plus souvent nécessaires. Une des voies envisageables est de précipiter le phosphore sous la forme de struvite, qui pourrait ensuite être valorisée comme engrais (Greaves, 1999). L'efficacité de ce procédé dépend de la phase initiale de solubilisation du phosphore et donc du pH de l'effluent.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de la teneur en protéines de l'aliment et de l'addition d'acide benzoïque, en présence ou non de phytase microbienne, sur les caractéristiques des effluents, la volatilisation de l'ammoniac et la spéciation du phosphore.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Expérimentation sur les animaux

L'expérience est réalisée selon un dispositif en blocs complets équilibrés avec 6 traitements expérimentaux et 4 mâles castrés par traitement. Les six traitements correspondent à six régimes alimentaires constitués à partir principalement de céréales (blé, orge et maïs) et de tourteau de soja. Deux régimes de base isoénergétiques (9,9 MJ EN/kg) sont formulés pour contenir 13 % ou 18 % de protéines et au moins 8,2 g/kg de lysine digestible. Ces régimes sont ensuite supplémentés ou non par des phytases (750 UI Ronozyme®P) et de l'acide benzoïque (Véovital®) pour obtenir les six régimes expérimentaux (Tableau 1) :

- R1 : 13 % de protéines, avec phytase sans acide benzoïque (13phy+ab-)
- R2 : 18 % de protéines, avec phytase sans acide benzoïque (18phy+ab-)
- R3 : 13 % de protéines, avec phytase avec acide benzoïque (13phy+ab+)
- R4 : 18 % de protéines, avec phytase avec acide benzoïque (18phy+ab+)
- R5 : 13 % de protéines, sans phytase sans acide benzoïque (13phy-ab-)
- R6 : 18 % de protéines, sans phytase sans acide benzoïque (18phy-ab-)

Les régimes 1 à 4 permettent ainsi de tester les effets de l'addition d'acide benzoïque dans des régimes correctement pourvus en phosphore digestible et contenant 13 ou 18 % de protéines, alors que les régimes 2, 3, 5 et 6 permettent de tester l'effet de la supplémentation en phytase dans deux types de rations, l'une à faible teneur en protéines et supplémentée en acide benzoïque et l'autre à forte teneur en protéines sans supplémentation.

Le animaux sont transférés au bâtiment expérimental vers 35 kg de poids vif et placés en cage de digestibilité, permettant ainsi un contrôle précis des quantités ingérées et une collecte séparée des fèces et des urines. La température moyenne ambiante est de $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Le niveau alimentaire est adapté en fonction de l'appétit des animaux et égalisé intra bloc. L'eau est disponible en permanence. La consommation et les refus d'eau (gaspillage) et d'aliment sont mesurés chaque jour.

La durée totale de l'expérimentation est de 28 jours, dont 10 jours d'adaptation à la cage et à l'alimentation et 18 jours durant lesquels les excréta (urines et fèces) sont collectés séparément. Lors de la première période de collecte (9 jours), les excréta sont collectés, pesés séparément pour chaque animal et stockés à 4°C . Un échantillon moyen d'urine par animal est constitué en vue des analyses et son pH est mesuré le jour de la fin de collecte. En fin de période un échantillon représentatif de fèces est constitué pour chaque animal puis congelé et lyophilisé en vue des analyses de laboratoire. Pendant la seconde période de collecte, les excréta, une fois pesés, sont mélangés de façon à constituer un lisier pour chaque régime. Au cours de cette période des échantillons de lisier frais des traitements R1 à R4 sont également constitués pour la mesure de la volatilisation d'ammoniac. Le pH urinaire est mesuré chaque jour par régime. Les animaux sont pesés en début d'expérience et au début et à la fin de chaque période de collecte.

1.2. Mesure de la volatilisation d'ammoniac

La volatilisation de l'ammoniac au stockage est mesurée en laboratoire à l'aide de la méthode décrite par Portejoie et al (2002). Un échantillon de 5,0 kg d'effluent est placé dans une cellule ventilée dont la surface d'émission est de 314 cm^2 . L'intégralité du flux de ventilation est soumise à un barbotage dans 50 ml de H_2SO_4 (2N) afin de piéger l'ammoniac. Les débits de flux sont ajustés avec des rotamètres et enregistrés sur des compteurs à gaz pour chaque circuit afin

Tableau 1 - Composition des régimes expérimentaux

Régimes	1	2	3	4	5	6
Protéines, %	13	18	13	18	13	18
Acide Benzoïque	-	-	+	+	+	-
Phytase	+	+	+	+	-	-
Composition, %						
Blé	44,189	25,126	44,189	25,126	44,189	25,126
Orge	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Mais	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Tourteau de soja 48	7,850	24,798	7,850	24,798	7,850	24,798
Huile de colza	-	3,076	-	3,076	-	3,076
Mélasse	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Carbonate de calcium	1,672	1,602	1,672	1,602	1,672	1,602
Phosphate Mono-bicalcique	0,472	0,376	0,472	0,376	0,472	0,376
COV	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Sel	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450
DL Méthionine	0,101	0,003	0,101	0,003	0,101	0,003
L Lysine	0,523	0,054	0,523	0,054	0,523	0,054
Thréonine	0,191	-	0,191	-	0,191	-
Tryptophane	0,037	-	0,037	-	0,037	-
Phytase Ronozyme	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
Amidon de maïs	1,000	1,000	-	-	0,015	1,015
Acide Benzoïque	-	-	1,000	1,000	1,000	-
Résultats d'analyses						
MS, %	86,9	87,0	86,5	86,9	86,4	87,4
Matières minérales, %	4,76	5,31	4,69	5,33	4,77	5,27
MAT, %	13,1	17,8	12,8	17,9	12,9	18,0
Ca, g/kg	7,62	8,28	7,64	7,77	7,86	8,09
P, g/kg	4,08	4,25	4,15	4,08	4,20	4,49
Cu, ppm	10,7	12,4	13,7	12,6	10,0	14,3
Zn, ppm	99,1	102,8	101,2	102,0	95,7	101,7
Acides aminés digestibles,g/kg ¹						
Lysine	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Méthionine + cystine	4,9	5,2	4,9	5,2	4,9	5,2
Thréonine	5,3	5,5	5,3	5,5	5,3	5,5
Tryptophane	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8
Énergie nette, MJ, kg ¹	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9

¹ Calculé d'après INRA-AFZ (2003)

de s'assurer de la reproduction des conditions de ventilation. Quatre répétitions (2 d'une durée de 4 jours et 2 d'une durée de 10 j) sont réalisées pour chaque effluent. Les pièges à ammoniac sont renouvelés au maximum toutes les 48 h.

1.3. Analyses de laboratoire

Un échantillon représentatif de chacun des six aliments distribués est prélevé afin de déterminer la teneur en matière sèche (MS), en protéines, matières azotées, matières minérales, Ca, P, Cu et Zn. Les mêmes mesures sont réalisées pour chaque animal sur les fèces et les urines collectées pendant la première période.

Les lisiers placés dans les cellules de volatilisation sont pesés et échantillonnés en début et fin d'essai. Ils sont analysés pour la détermination du pH, des teneurs en matières sèches, en matières minérales, en azote total et en azote ammoniacal. Les masses des pièges sont notées à chaque renouvellement et la teneur en azote ammoniacal est déterminée. A la fin de chaque essai les masses d'azote piégé sont comparées aux masses d'azote perdu dans les lisiers pour établir des coefficients de recouvrement.

1.4. Fractionnement des formes du phosphore

La méthode de fractionnement à l'acide perchlorique à froid est décrite sur la figure 1. Le phosphore organique

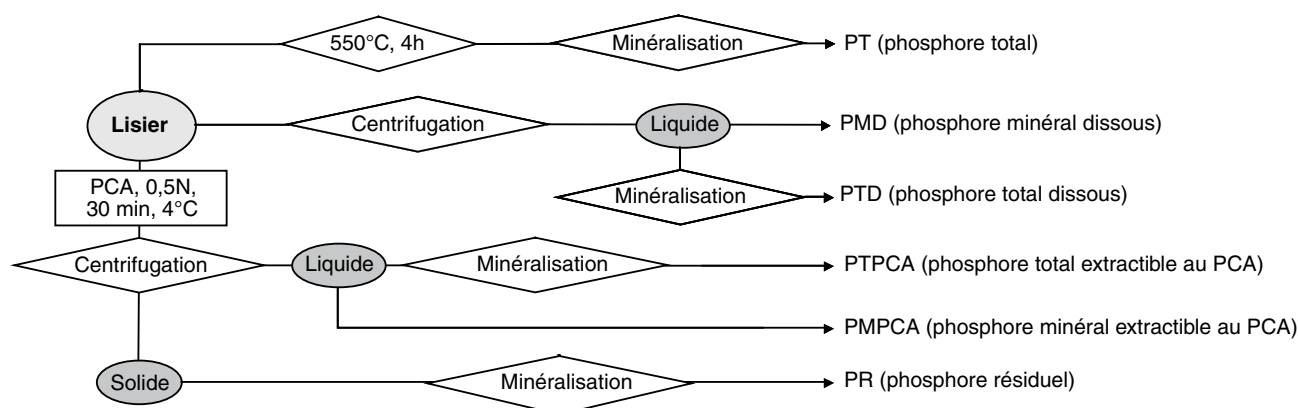


Figure 1 - Schéma de la méthode de fractionnement du phosphore à l'acide perchlorique à froid

dissous est calculé par la différence entre le phosphore total dissous et le phosphore minéral dissous. De même le phosphore organique solide est calculé par la différence entre le phosphore total extractible au PCA et le phosphore minéral extractible au PCA. Suivant les éléments l'analyse dans les extraits se fait soit par chromatographie ionique, soit par colorimétrie ou encore par ICP (inductive coupled plasma).

1.5. Essais acidification/précipitation

Les tests d'acidification ont été réalisés dans des erlenmeyers de 500 ml. Environ 100 g du lisier à tester ont été pesés dans 3 à 5 erlens. Des quantités croissantes d'acide chlorhydrique ont été ajoutées dans chaque flacon pour obtenir des valeurs de pH comprises entre le pH initial (7-8) et 3. Après 3 heures d'agitation, les échantillons sont centrifugés et les analyses de la composition ionique réalisées sur le surnageant suivant les techniques décrites précédemment.

1.6. Calculs statistiques

Les données concernant les bilans de digestibilité, les performances de croissance et la répartition des formes du phosphore sont traitées par analyse de variance en utilisant la procédure GLM de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), selon un modèle incluant l'effet du régime. La méthode des contrastes est utilisée pour tester l'effet de la teneur en protéines du régime (R1, R3 versus R2, R4), l'effet de l'addition d'acide benzoïque (R1, R2 versus R3, R4), l'effet de l'addition de

phytase (R2, R3 versus R5, R6) et les interactions éventuelles. Les résultats concernant la seconde période de collecte sont traités par analyse de variance avec un modèle prenant en compte l'effet du régime et du jour de collecte. Les résultats concernant la mesure de la volatilisation et la répartition des différentes formes du phosphore sont traités par analyse de variance avec un modèle prenant en compte l'effet du régime et de la répétition. Les valeurs moyennes pour la quantité et la composition des lisiers collectés sont déterminées mais sans analyse statistique puisque seulement une donnée est disponible par échantillon.

2. RÉSULTATS

2.1. Performances des animaux

Les performances de croissance des animaux sont rapportées au tableau 2. Conformément au protocole expérimental, la quantité d'aliment consommée est identique pour les différents traitements. La vitesse de croissance tend à être supérieure pour les animaux recevant le régime le plus riche en protéines (1050 vs 980 g/j, $P=0,06$). Cette différence est plus marquée pendant la première période expérimentale ($P<0,01$) et n'est plus significative pendant la seconde. La teneur en protéines du régime influence également l'indice de consommation, ce dernier étant plus élevé avec les aliments les plus pauvres en protéines (2,03 versus 2,17 kg/kg, $P<0,05$). L'absence de phytase dans le régime s'accompagne d'une réduction de la vitesse de croissance (975 versus 1050

Tableau 2 - Performances de croissance des animaux au cours de l'ensemble de la période expérimentale

	Régimes expérimentaux						Signification statistique				
	1	2	3	4	5	6	RSD	reg.	prot.	ac.benz	phyt.
Protéines, %	13	18	13	18	13	18					
Acide Benzoïque	-	-	+	+	+	-					
Phytase	+	+	+	+	-	-					
Aliment, kg/j	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	-	-	-	-	-
Eau, kg/j	5,20	5,26	5,40	6,46	4,90	5,83	1,39	0,669	0,430	0,326	0,964
Poids vif, kg											
Initial	42,8	44,1	43,2	43,05	42,9	43,2	0,74	0,977	0,650	0,795	0,604
Final	60,5	63,3	61,7	62,4	59,8	61,4	2,53	0,449	0,178	0,922	0,156
GMQ, g/j	982	1069	1023	1075	938	1012	67	0,078	0,054	0,486	0,050
IC, kg/kg	2,17	2,00	2,08	1,98	2,27	2,11	0,14	0,083	0,083	0,459	0,046

g/j, $P < 0,05$) et d'une augmentation de l'indice de consommation (2,19 versus 2,04 kg/kg, $P < 0,05$). Par contre, l'addition d'acide benzoïque n'influence pas les performances des animaux.

2.2. Résultats des mesures de bilan

Les résultats de bilan sont rapportés au tableau 3. Les quantités d'azote retenu et excrété au niveau urinaire et fécal

sont significativement influencées par la teneur en protéines du régime, alors que le coefficient de digestibilité n'est pas affecté. L'absence de supplémentation en phytase s'accompagne d'une réduction de la rétention azotée et d'un accroissement de l'excrétion urinaire.

L'apport de phosphore est légèrement supérieur pour les régimes les plus riches en protéines. Ceci s'accompagne d'une augmentation significative de l'excrétion urinaire

Tableau 3 - Performances et résultats pendant la période de mesure de bilan

	Régimes expérimentaux						Signification statistique				
	1	2	3	4	5	6	RSD	reg.	prot.	ac. benz	phyt.
Protéines, %	13	18	13	18	13	18					
Acide Benzoïque	-	-	+	+	+	-					
Phytase	+	+	+	+	-	-					
Aliment, kg/j	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	-	-	-	-	-
Eau, kg/j	6,14	5,78	5,68	7,37	5,89	7,07	1,98	0,751	0,509	0,574	0,458
Poids vif, kg											
initial	42,8	44,1	43,2	43,05	42,9	43,2	0,74	0,977	0,650	0,795	0,604
final	51,4	53,7	52,2	52,8	51,0	52,6	2,31	0,604	0,219	0,949	0,333
GMQ, g/j	952	1071	991	1083	892	1047	67	0,005	0,006	0,455	0,006
IC, kg/kg	2,05	1,89	1,96	1,88	2,15	1,99	0,13	0,079	0,081	0,453	0,044
Effluent											
fèces, kg/j	0,69	0,76	0,67	0,68	0,67	0,72	0,08	0,576	0,318	0,231	0,656
fèces, % MS	32,2	31,6	31,6	34,9	32,2	32,7	2,30	0,382	0,243	0,276	0,488
urines, kg/j	4,41	3,92	3,57	5,53	4,20	5,20	2,06	0,751	0,487	0,711	0,374
pH urinaire	9,07	9,31	8,38	9,17	8,52	9,28	0,29	0,001	0,002	0,011	0,691
Bilan N, g/j											
ingéré	37,1	50,2	36,0	50,4	36,4	51,0	0,05	0,001	0,001	-	-
fèces	5,3	7,1	5,0	6,6	5,5	7,1	0,72	0,001	0,001	0,271	0,510
urines	11,4	18,1	8,9	21,2	11,7	22,9	2,49	0,001	0,001	0,853	0,006
retenu	20,4	25,0	22,1	23,6	19,2	21,0	2,7	0,062	0,034	0,905	0,019
CudN, %	85,7	85,8	86,1	86,9	85,0	86,0	1,5	0,667	0,534	0,357	0,554
Bilan P, g/j											
ingéré, g/j	8,26	8,52	8,21	8,52	8,21	8,56	0,02	0,001	0,001	-	-
fèces, g/j	4,20	3,73	3,81	3,81	4,46	4,42	0,43	0,081	0,294	0,469	0,006
urine, g/j	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,06	0,006	0,001	0,001	0,167	0,421
retenu, g/j	4,02	4,73	4,37	4,64	3,71	4,08	0,42	0,024	0,030	0,540	0,007
CudP, %	49,1	56,2	53,6	55,2	45,7	48,4	5,1	0,052	0,109	0,504	0,006
Bilan Ca, g/j											
ingéré, g/j	15,2	16,5	15,1	15,5	15,6	16,2	0,04	0,001	0,001	-	-
fèces, g/j	9,6	9,1	9,9	9,6	9,3	9,6	1,5	0,974	0,577	0,589	0,983
urine, g/j	0,06	0,03	0,29	0,06	0,11	0,03	0,11	0,034	0,031	0,032	0,148
retenu, g/j	5,5	7,5	5,0	5,8	6,2	6,6	1,5	0,290	0,076	0,171	0,828
Bilan Cu, mg/j											
ingéré	21,3	24,8	27,1	25,0	19,8	28,6	-	-	-	-	-
fèces,	21,3	22,6	19,9	24,0	20,9	23,5	1,2	0,001	0,001	0,954	0,001
Bilan Zn, mg/j											
ingéré	197	205	200	203	190	203	-	-	-	-	-
fèces	193	191	194	203	195	188	13	0,701	0,557	0,307	0,876

de phosphore ($P<0,001$) et de la rétention ($P<0,03$). La même chose est observée pour le calcium dont la rétention tend à augmenter ($P<0,07$) pour les teneurs élevées en protéines. L'absence de supplémentation en phytase s'accompagne d'une augmentation de l'excrétion fécale de phosphore ($P<0,01$) associée à une diminution de sa digestibilité ($P<0,01$) et une réduction de la rétention ($P<0,01$). Le bilan en calcium n'est par contre pas significativement influencé par la présence de phytase dans le régime. L'ingestion de cuivre est plus élevée pour les régimes les plus riches en protéines, ce qui s'accompagne d'une augmentation significative de l'excrétion fécale. Le bilan de zinc n'est par contre pas influencé par les traitements expérimentaux.

L'addition d'acide benzoïque n'influence aucun des bilans, mis à part l'excrétion urinaire de calcium qui augmente significativement, en particulier dans les régimes à faible teneur en protéines.

2.3. Caractéristiques des excréta et des lisiers

Pendant la période de collecte individualisée des excréta (Tableau 3), les quantités d'urine et de fèces collectées ne sont pas significativement influencées par le régime. Le pH de l'urine augmente avec la teneur en protéines du régime (9,25 *versus* 8,66, $P<0,002$) et il est plus faible chez les animaux recevant le régime supplémenté par 1 % d'acide benzoïque (8,78 *versus* 9,19, $P<0,002$). L'effet de l'acide benzoïque sur le pH de l'urine est plus marqué avec le régime à 13 % de protéine (interaction $P<0,07$). Le pH de l'urine est significativement corrélé avec la quantité d'urine et sa teneur en N et en Ca.

$$\text{pHu} = (8,31 \pm 8,09) + 0,12 \text{ urine (l)} + 0,092 \text{ N(g/l)} - 0,0045 \text{ Ca (mg/l)} \quad R^2 = 0,83$$

Les mêmes effets des régimes sont observés sur les valeurs moyennes journalières de pH de l'échantillon moyen d'urine

Tableau 4 - Performances et production de lisier pendant résultats pendant la période de collecte des lisiers

	Régimes expérimentaux						Signification statistique				
	1	2	3	4	5	6	RSD	reg.	prot.	ac. benz	phyt.
Protéines, %	13	18	13	18	13	18					
Acide benzoïque	-	-	+	+	+	-					
Phytase	+	+	+	+	-	-					
Aliment, kg/j	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23					
Eau, kg/j	6,57	7,08	7,52	8,41	6,08	7,18	1,61	0,449	0,396	0,172	0.414
Poids vif, kg											
initial	51,4	53,7	52,5	52,8	50,9	52,6	2,31	0,604	0,219	0,949	0.333
Final	60,5	63,3	61,7	62,4	59,8	61,4	2,53	0,449	0,178	0,922	0.156
GMQ, g/j	1011	1066	1055	1066	983	978	93	0,576	0,487	0,641	0.101
IC, kg/kg	2,33	2,14	2,23	2,12	2,45	2,24	0,15	0,042	0,044	0,438	0.044
Effluent											
fèces, kg/j	0,680	0,750	0,679	0,725	0,687	0,729	0,159	0,892	0,274	0,813	0.911
urines, kg/j	4,315	4,871	5,385	5,748	4,214	4,694	0,644	0,001	0,038	0,001	0.003
pH urinaire	9,10	9,26	8,41	9,15	8,74	9,25	0,170	0,001	0,001	0,001	0.005
effluent, kg/j	4,995	5,621	6,064	6,474	4,901	5,423	0,741	0,002	0,041	0,003	0.041
Lisier											
Quantité totale, kg	179,8	202,4	218,3	233,0	176,4	195,2					
MS, %	5,71	5,74	4,66	5,06	5,78	5,78	-	-	-	-	-
pH	8,18	8,82	7,48	8,57	7,86	8,81	-	-	-	-	-
N, g/kg MS	5,37	6,26	5,27	6,20	5,41	7,30	-	-	-	-	-
Ca, g/kg MS	31,3	27,9	29,9	24,6	31,4	28,2	-	-	-	-	-
P, g/kg MS	15,4	13,6	14,2	13,0,	16,0	16,2	-	-	-	-	-
Cu, mg/kg MS	77,8	83,8	82,5	81,4	70,7	84,9	-	-	-	-	-
Zn, mg/kg MS	673	712	793	762	737	673	-	-	-	-	-

collecté par régime (Figure 2). Toutefois, l'effet de la teneur en protéines du régime sur le pH de l'urine tend à se réduire en fin de période expérimentale, alors que l'effet de l'acide benzoïque se maintient au même niveau.

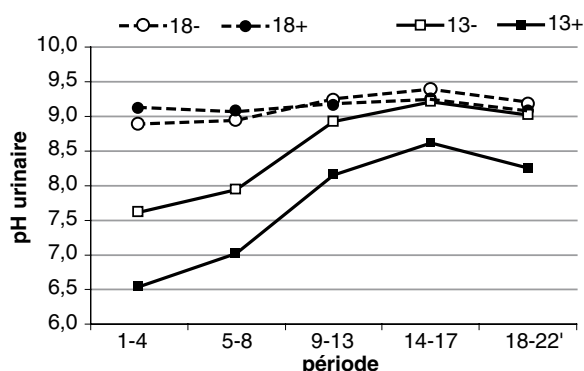


Figure 2 - Évolution du pH urinaire au cours de l'expérience, en fonction de la teneur en protéines du régime et de l'addition ou non d'acide benzoïque

La production journalière moyenne d'effluents pendant la période de collecte de bilan est de $5,1 \pm 2,1$ kg par porc. Elle est très variable et ne diffère pas significativement entre les régimes. Toutefois, elle est numériquement plus élevée pour les régimes plus riches en protéines (5,4 versus 4,7 kg/porc) et dans une moindre mesure ceux supplémentés en acide benzoïque. Ces écarts s'expliquent essentiellement par la quantité d'urine produite, elle-même associée étroitement à la consommation d'eau.

$$\text{Eau (l/j)} = 2,07 (\pm 0,16) + 0,95 (\pm 0,03) \text{ urine} \quad R^2 = 0,97$$

Les mêmes résultats sont obtenus au cours de la seconde période de collecte (Tableau 4). Le volume total de lisier produit est le plus élevé pour le régime à 18 % de protéines sup-

plémenté en acide benzoïque (233 l) et le plus faible pour le régime à 13 % de protéines non supplémenté (180 l). Le pH du lisier à la fin de collecte est réduit pour les régimes à 13 % de protéines (7,83 versus 8,70) et pour les régimes supplémentés en acide benzoïque (8,03 versus 8,50), le pH le plus faible étant obtenu pour le régime à 13 % de MAT supplémenté en acide benzoïque (7,48) et le plus élevé pour le régime à 18 % de MAT non supplémenté (8,82). Les résultats d'analyse des lisiers en fin de période de collecte (Tableau 3) pour leurs teneurs en azote, P, Ca, Cu et Zn sont en accord avec ceux obtenus durant la période de collecte de bilan.

2.4. Volatilisation de l'ammoniac

La composition initiale des lisiers frais reconstitués à partir d'urine et de fèces et les résultats de mesure de la volatilisation d'ammoniac sont rapportés au tableau 5. La vola-

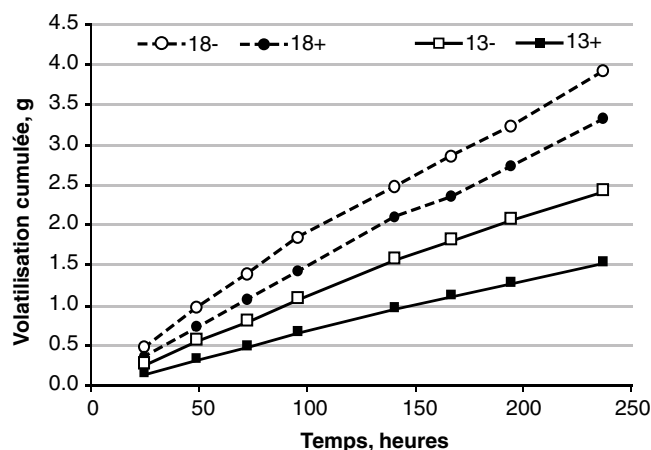


Figure 3 - Volatilisation cumulée d'ammoniac au laboratoire, en fonction de la teneur en protéines du régime et de l'addition ou non d'acide benzoïque

Tableau 5 - Composition des lisiers frais et volatilisation de l'ammoniac

	Régimes expérimentaux				Signification statistique			
	1	2	3	4	RSD	repet.	prot.	ac. benz
Protéines, %	13	18	13	18				
Acide Benzoïque	-	-	+	+				
Composition initiale								
matière sèche, g/kg	55,9	53,2	47,3	52,6	6,68	0,99	0,75	0,42
pH	8,41	8,77	7,60	8,65	0,25	0,80	0,016	0,061
N total, g/kg	3,98	5,34	3,33	5,09	0,28	0,42	0,002	0,086
N ammoniacal, g/kg	2,90	4,19	2,33	3,60	0,16	0,29	0,001	0,015
Volatilisation (4 j)								
g N	1,08	1,82	0,66	1,40	0,08	0,48	0,001	0,001
% N initial	5,41	6,84	3,95	5,51	0,43	0,63	0,001	0,001
Volatilisation (10 j)								
g N	2,42	3,90	1,53	1,31	0,14	-	0,001	0,001
% N initial	11,3	14,1	9,4	13,2	0,48	-	0,001	0,010

tilisation de l'ammoniac est significativement réduite par la diminution de la teneur en protéines et l'addition d'acide benzoïque. Ainsi, relativement au régime à 18 % de protéines non supplémenté en acide benzoïque, la volatilisation diminue de 20 % lorsque la teneur en protéines passe à 13 % et de 40 % lorsque de l'acide benzoïque est ajouté. La combinaison des deux méthodes s'accompagne d'une réduction de 60 % de la volatilisation. Exprimée en pourcentage de l'azote initial de l'effluent, la volatilisation est également significativement réduite avec la teneur en protéines et l'addition d'acide benzoïque. Pour les quatre régimes le pH de l'effluent diminue au fur et à mesure de la volatilisation de l'ammoniac.

2.5. Répartition des formes du phosphore dans l'effluent

L'analyse des résultats obtenus pendant la période de bilan montre que l'ajout de phytase permet de réduire de 11 à 21 % la quantité totale globale de phosphore excrétée par les porcs suivant que l'ajout de phytase soit ou non associé aux autres facteurs testés.

La répartition des différentes formes de phosphore dans les lisiers issus des différents régimes est présentée dans le tableau 6. L'effet des régimes sur la proportion de phosphore minéral dissous reste limité. La réduction du taux protéique et l'ajout d'acide benzoïque permettent d'augmenter la fraction de phosphore dissous mais celle-ci reste inférieure à 6 %. Cette augmentation du phosphore dissous se fait au détriment du phosphore minéral précipité probablement sous l'effet du pH. La somme des fractions minérales dissoutes et solides est comprise entre 44 et 55 % du phosphore total. Entre 35 et 40 % du phosphore est sous une forme organique extractible au PCA. Le reste est sous une forme dite résiduelle qui regroupe les formes résistantes organiques ou minérales peu dégradables même pour des valeurs de pH inférieures à 3. Des essais antérieurs ont montré que la fraction organique extractible au PCA pouvait contenir des polyphosphates à

chaîne moyenne et longue, des fragments d'acides nucléiques ou des phospholipides. Ces molécules nécessitent une hydrolyse préalable pour que le phosphore transformé en phosphates puisse intégrer un procédé physico-chimique de recyclage.

Une nouvelle analyse de la répartition des formes du phosphore a été réalisée après 6 mois de stockage pour les lisiers issus des régimes R1, R3 et R6. Les résultats montrent que l'hydrolyse des formes organiques s'est amorcée pendant le stockage puisque la fraction de phosphore organique extractible au PCA est réduite à 15 % pour R1 et R6, et 23 % pour R3. La fraction minérale est principalement sous forme solide (Tableau 6).

2.6. Solubilisation du phosphore et pouvoir tampon des lisiers

Pour évaluer la quantité de réactif nécessaire à la dissolution du phosphore minéral solide des lisiers R1, R3 et R6, stockés pendant 10 mois, des quantités croissantes d'acide chlorhydrique ont été ajoutées au lisier. La quantité d'acide nécessaire à la dissolution totale du phosphore est comprise entre 0,2 et 0,3 mmoles.kg⁻¹ pour les lisiers R1 et R3, entre

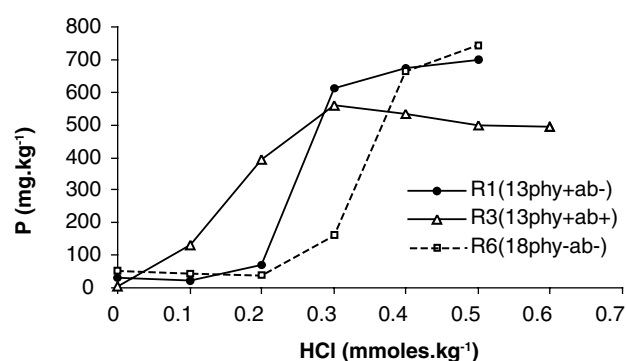


Figure 4 - Evolution de la concentration en P dissous suite à l'acidification par ajout d'HCl dans les lisiers stockés

Tableau 6 - Répartition des différentes formes du phosphore (%) dans les lisiers frais et après 6 mois de stockage

Régimes	1	2	3	4	5	6
Protéines, %	13	18	13	18	13	18
Acide benzoïque	-	-	+	+	+	-
Phytase	+	+	+	+	-	-
Lisier frais (% P total)						
P minéral dissous	4	1	6	2	5	5
P organique dissous	2	2	1	1	2	3
P minéral solide	50	53	38	48	42	46
P organique solide	34	34	44	38	41	36
P résiduel	9	10	11	11	11	11
Lisier stocké 6 mois (% P total)						
P minéral dissous	5	-	2	-	-	5
P organique dissous	0	-	1	-	-	2
P minéral solide	73	-	61	-	-	74
P organique solide	14	-	18	-	-	13
P résiduel	8	-	17	-	-	6

0,4 et 0,5 pour R6. La concentration en P dissous est proportionnelle à la quantité d'acide ajoutée pour R1, tandis qu'on observe un effet seuil lié au pouvoir tampon pour R3 et R6 (Figure 4).

3. DISCUSSION - CONCLUSION

Le GMQ (1020 g/j en moyenne) et l'IC (2,10 kg/kg en moyenne) sont très satisfaisants pour des animaux à ce stade et meilleurs que les valeurs retenues pour définir le besoin et formuler les régimes. On note toutefois une légère diminution du GMQ, associée à une augmentation de l'IC, pour les régimes à 13 % de protéines. Ceci pourrait indiquer un apport insuffisant de certains acides aminés, ce qui semble confirmé par l'effet plus marqué pendant les deux premières semaines. La croissance est également réduite pour les aliments sans phytase en relation avec un apport insuffisant de phosphore disponible. En accord avec la bibliographie (Dourmad et Jondreville, 2006) les résultats de cette expérimentation confirment que la diminution de la teneur en protéines du régime, tout en maintenant les mêmes apports en acides aminés essentiels (lysine, méthionine, cystine, thréonine et tryptophane), permet une réduction importante de la quantité d'azote excrété, la réduction de l'excrétion azotée se situant surtout au niveau de la fraction urinaire.

La volatilisation de l'azote ammoniacal du lisier durant le stockage est fortement influencée par son pH, sa teneur en azote total (Nk) et en ammonium (N-NH_4). Les valeurs initiales de pH des lisiers varient de 8,77 pour le régime à 18 % de protéines non supplémenté en acide benzoïque, à 7,59 pour le régime à 13 % de protéines supplémenté en acide benzoïque soit un écart de 1,2 point. Ces valeurs de pH obtenues sur des lisiers nouvellement formés sont en accord avec les résultats de van der Peet-Schwering et al. (1999) qui, lors d'expérimentations sur des porcs en engraissement avec un aliment à 16 % de protéines et différents taux d'incorporation d'acide benzoïque, trouvaient des pH compris entre 8 et 9. Les valeurs de pH en fin d'essai de volatilisation de 10 jours sont de 7,94 et 6,77 respectivement pour les régimes à 18 % de protéines sans incorporation d'acide benzoïque et à 13 % de protéines avec incorporation de 1 % d'acide benzoïque ; ils sont également proches de valeurs mentionnées par van der Peet-Schwering et al. (1999). Guingand et al. (2005) rapportent des valeurs de pH comprises entre 7,0 et 6,8 dans des lisiers en fin d'engraissement sans effet significatif de l'incorporation de 1 % acide benzoïque dans un aliment à 17 % de MAT. Ces différents niveaux de réponses à l'incorporation d'acide benzoïque pourraient être liés au pouvoir tampon des fèces, au bilan électrolytique (Canh et al. 1998) et à la teneur en protéines de l'aliment. Ceci est confirmé par le pH de l'urine qui diminue beaucoup plus significativement à la suite de l'addition d'acide benzoïque pour le régime à 13 % de protéines.

Les effets de la réduction de la teneur en protéines de l'aliment sur la réduction des teneurs en Nk et N-NH_4 et l'augmentation du rapport ($\text{N-NH}_4/\text{Nk}$) sont en accord avec les résultats de Portejoie et al. (2004).

Les réductions d'émission dues à l'incorporation d'acide benzoïque dans l'aliment des porcs à l'engraissement sont estimées à 25 % par Guingand et al. (2005) alors que Den Brok et al. (1999) concluent à un potentiel de réduction d'émission de 40 % lorsqu'un mélange d'acide benzoïque et de sels acidifiants est incorporé dans l'aliment. Dans notre essai l'addition d'acide benzoïque se traduit par une baisse de la volatilisation de 20 à 38 %, respectivement pour les aliments à 18 et 13 % de MAT.

Portejoie et al. (2004) mesuraient une baisse des émissions d'ammoniac d'environ 60 % durant le stockage, en réduisant le taux protéique de l'aliment de 20 % à 12 %. Dans nos conditions, une réduction moins importante du taux protéique de l'aliment associée à l'incorporation d'acide benzoïque permet d'obtenir un potentiel de réduction des émissions similaire.

La fraction de phosphore présente sous forme organique dans les lisiers frais est supérieure à celle habituellement citée dans la littérature (Sharpley and Moyer, 2000 ; Daumer et al, 2004). La durée de la période expérimentale (18 jours) comparée à 6 mois pour un engraissement standard, la collecte quotidienne des lisiers et leur stockage dans des récipients propres peuvent expliquer la faible dégradation des résidus organiques (résidus végétaux et biomasse digestive). La minéralisation qui intervient pendant le stockage ultérieur entraîne une augmentation de la concentration en P minéral total mais n'augmente pas de façon significative la concentration en P minéral dissous qui est la forme sous laquelle le phosphore pourra être séparé efficacement de la matière organique et recyclé par un procédé physico-chimique. Pour respecter les contraintes réglementaires qui imposent un abattement en phosphore équivalent à celui obtenu par le traitement de l'azote, environ 70 % du phosphore des lisiers doit pouvoir être recyclé (arrêtés ZES 2002). L'ajout de réactif est donc nécessaire à la solubilisation du phosphore. La quantité de réactif à mettre en œuvre va déterminer le coût du procédé de recyclage physico-chimique et sa faisabilité sur l'exploitation. Elle va dépendre du pouvoir tampon des lisiers. Le lisier de porc a un pouvoir tampon élevé lié notamment à la présence d'azote ammoniacal et de carbonate en grande quantité (Sommer and Husted, 1995). La réduction du pouvoir tampon observée sur les régimes R1 et surtout R3 peut être liée à la réduction de la quantité d'azote ammoniacal dans les lisiers issus des régimes avec un faible taux de protéines. La quantité de réactif à ajouter pour dissoudre la totalité du phosphore minéral solide sera réduite de moitié si l'on procède à partir du lisier issu du régime R3, comparativement à celle nécessaire avec le lisier issu d'un régime standard.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la Région Bretagne pour sa participation au financement de cette étude et la société DSM Nutritional Products pour la fourniture de l'acide benzoïque et de la phytase utilisés dans les essais.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dourmad, J.Y., Jondreville C., 2006. Nutritional approaches to reduce nitrogen, phosphorus and trace elements in pig manure. in: *Livestock production and society*, Ed R. Geers and F Madec, Wageningen Academic publishers, 135-150.
- Portejoie S., J.Y. Dourmad, J. Martinez, Y. Lebreton, 2004. Effect of lowering crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.* 91, 45-55.
- Canh T.T., Aarnink A.J.A., Mroz Z., Jongbloed A.W., Schrama J.W., Verstegen M.W.A., 1998. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livest. Prod. Sci.* 56, 1-13.
- Daumer M.-L., Béline F., Sperandio, 2004. The effect of phytase in pig diet and solid/liquid separation of pig slurry on phosphorus, calcium, and magnesium fractionation. *Trans. ASAE*, 47 (4), 1247-1253.
- Den Brok G. M., Hendriks J. G. L., Vrielink M. G. M., Van der Peet-Schwering, C. M. C., 1999. Urinary pH, ammonia emission and performance of growing/finishing pigs after the addition of a mixture of organic acids, mainly benzoic acid, to the feed. Research report P 5.7. Rosmalen
- Guingand N., Demerson L., Broz J., 2005. Incidence de l'incorporation d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs charcutiers sur les performances zootechniques et l'émission d'ammoniac. *Journées Rech. Porcine*, 37, 1-6.
- Greaves, J, 1999. Prospect for the recovery of phosphorus from animal manures: a review. *Env. Technol.*, 20, 697-708.
- Sommer, S. G., Husted.S., 1995 The Chemical buffer system in raw and digested animal slurry. *J. of Agri Sci.*, 124, 45-53.
- Sharpley, A., Moyer B. , 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. of Env. Qual.*, 29, 1462-1469.
- Van der Peet-Schwering C. M. C., Verdoes N., Plagge J. G., 1999. Influence of benzoic acid in the diet on performance and urine pH of growing/finishing pigs. Research report P 5.8. Rosmalen.