

Influence de l'incorporation de levures *Saccharomyces cerevisiae* ou de leurs parois dans l'aliment sur la digestion et les performances zootechniques des porcelets en post-sevrage

Rosil LIZARDO (1), Miquel NOFRARÍAS (2), Joanna GUINVARCH (1), Anne-Lise JUSTIN (3), Eric AUCLAIR (3), Joaquim BRUFAU (1)

(1) IRTA - Mas de Bover, Crtra Reus, El Morell, Km 3,8, 43120 Constantí, Espagne

(2) CReSA - Centre de Recerca en Sanitat Animal, Campus UAB, 08193 Bellaterra, Espagne

(3) LFA - Lesaffre Feed Additives, 59520 Marquette-Lez-Lille, France

rosil.lizarido@irta.es

avec la collaboration technique de A. Perez, D. Lopez, N. Paris, D. Rodas et J. Aguiló.

Influence de l'incorporation de levures *Saccharomyces cerevisiae* ou de leurs parois dans l'aliment sur la digestion et les performances zootechniques des porcelets en post-sevrage

Les levures *Saccharomyces cerevisiae* semblent avoir des propriétés qui leur permettraient de devenir une des alternatives aux promoteurs de la croissance chez le porc. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de l'utilisation de ces levures ou de leurs parois dans les régimes sur les performances zootechniques, la digestibilité et quelques paramètres physiologiques. Au sevrage, 90 porcelets sont répartis en 3 lots correspondant à un régime témoin et à 2 régimes supplémentés avec 1 g/kg de levures (Biosaf®) ou des parois de levures (Safmannan®). Après 5 semaines d'essai, 24 porcelets sont abattus pour effectuer des prélèvements. Sur l'ensemble de l'expérience, on observe une amélioration du GMQ et du PV final ($P < 0,05$), voire de l'IC ($P = 0,12$) avec les 2 régimes levures. On observe également une diminution du nombre de lymphocytes intraépithéliaux ($P = 0,07$) tandis que la concentration en AGVs et le pourcentage d'acétate augmentent avec les régimes levures.

Dans une 2^{ème} expérience, 27 porcelets sont utilisés pour évaluer la digestibilité fécale et la rétention d'azote. La digestibilité de la matière sèche, énergie et protéine reste similaire entre régimes ($P > 0,10$). Par contre, celle des fibres au détergent neutre et des hémicelluloses augmente ($P < 0,001$) ainsi que la rétention d'azote avec les régimes comportant des levures. Les résultats obtenus confirment l'effet bénéfique de l'utilisation des levures et de leurs parois dans les aliments de sevrage des porcelets.

The effect of dietary inclusion of *Saccharomyces cerevisiae* or yeast cell walls on growth performance and nutrient utilization in the weaning pig

Yeasts or yeast products might be potential alternatives to antibiotic growth promoters for swine. Two trials were conducted to evaluate the effect of including the yeast *S. cerevisiae* or its cell wall fraction in diets for weaning piglets on growth performance, nutrient utilisation and some morphological and immunological parameters. In a first experiment, 90 weaning piglets were distributed among 3 groups corresponding to the control diet and 2 diets supplemented with 1 g/kg of live yeast (Biosaf®) or yeast cell walls (Safmannan®). The experiment lasted 5 weeks and, at the end, 24 piglets were slaughtered for intestinal sampling. Overall, increases in weight gain and in final bodyweight were observed ($P < 0.05$) and feed:gain ratio tended ($P = 0.12$) to improve with yeast diets. Villous height was not affected ($P > 0.10$) by yeast diets, but they reduced ($P = 0.07$) the number of intraepithelial lymphocytes and increased volatile fatty acid production and percentage of acetate.

In a 2nd experiment, 27 piglets were used to evaluate nutrient utilisation and N retention. Dry matter, energy and protein digestibility was similar among treatments ($P > 0.10$). However, neutral detergent fibre and hemicellulose digestibility ($P < 0.001$) and nitrogen retention increased with yeast diets ($P < 0.001$), in agreement with the increased weight gain observed in both experiments. From these results, it can be concluded that the inclusion of yeasts or yeast cell walls have beneficial effects on the productive performance of piglets after weaning.

INTRODUCTION

Le sevrage tel qu'il se pratique actuellement représente une des périodes les plus critiques pour le porc. Il se caractérise par une chute de la consommation d'aliment, conduisant à un état d'anorexie sévère, à une susceptibilité accrue aux troubles digestifs, aux retards de la croissance et aux infections microbiennes. Le changement de substrat alimentaire entraîne également des modifications importantes de la fonctionnalité de l'intestin (Lallès et al., 2004), affectant l'utilisation des nutriments, le métabolisme, voire la synthèse de protéines (Le Dividich et Sève, 2000). Sur le plan immunitaire, le porcelet a besoin de développer de l'immunocompétence, c'est-à-dire, être tolérant face aux antigènes alimentaires et les bactéries commensales et d'autre part, de produire des réponses immunitaires actives contre les potentiels pathogènes (Lallès et al., 2004). Par ailleurs, la microflore digestive dont la fonction principale semble être la protection du tractus contre l'invasion des bactéries entéro-pathogènes subit des perturbations importantes au sevrage. Dans le passé, ces risques étaient minimisés par l'apport systématique de doses sous-thérapeutiques d'antibiotiques (APC) dans les aliments. Cependant, le risque de développement de souches bactériennes antibio-résistantes a conduit l'UE à prohiber leur utilisation. Depuis, toutes les industries de l'alimentation animale sont à la recherche d'alternatives capables de maintenir le niveau de production et l'état sanitaire des animaux.

Les levures *Saccharomyces cerevisiae*, leurs parois cellulaires ou des fractions extraites (mannanoglycosaccharides, β -glucanes) semblent constituer des alternatives possibles (Pettigrew, 2000 ; Rosen, 2006). Leur utilisation dans les régimes peut contribuer à l'amélioration des performances de croissance (Jurgens et al., 1997 ; van Heugten et al., 2003), à stimuler le système immunitaire (Davis et al., 2004), à maintenir l'équilibre de la microflore digestive (van Heugten et al., 2003) et à prévenir l'adhésion des bactéries aux cellules de l'épithélium intestinal (Jann, 1981). Toutefois, il existe d'autres études dans lesquelles ces effets bénéfiques n'ont pu être observés, en particulier l'amélioration des performances zootechniques (Kornegay et al., 1995 ; LeMieux et al., 2003). L'objectif de la présente étude est donc d'évaluer l'efficacité zootechnique et de contribuer à l'étude des mécanismes impliqués lors de l'utilisation des levures *S. cerevisiae* Sc47 et de ses parois cellulaires dans les régimes pour le porcelet en post-sevrage.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

Deux expériences sont réalisées pour évaluer l'effet d'incorporation de levures vivantes (Biosaf®, LFA, France) ou de leurs parois (Safmannan®, LFA, France) dans les régimes sur les performances de croissance (expérience 1) et la digestibilité des nutriments principaux (expérience 2).

Dans l'expérience 1, quatre-vingt dix porcelets Piétrain x Landrace sevrés à 4 semaines sont répartis en trois lots et divisés en 6 blocs de poids vif (PV) en tenant compte de la portée et du sexe. Les animaux sont logés par groupes de 5 individus chacun dans une salle à ambiance contrôlée. Les performances de croissance et de consommation d'aliment sont évaluées durant

2 périodes consécutives de 3 et 2 semaines respectivement. A la fin de ces 5 semaines, des prélèvements sanguins sont effectués sur 24 porcelets, puis les animaux sont abattus selon les procédures n° : 3106 et n° : 1562 approuvées par le Comité d'Ethique en Expérimentation Animale de l'IRTA. Les porcelets sont ensuite éviscérés et l'intestin grêle et le caecum sont séparés du reste des viscères. Après la dissection, 3 segments d'environ 10 cm correspondant au jéjunum moyen (demi-longueur), au jéjunum terminal (quart de longueur) et à l'iléon (à environ 80 cm de la valvule iléo-caecale) sont prélevés. Ces échantillons sont soigneusement vidés, rincés au sérum physiologique, puis ouverts longitudinalement et fixés par immersion dans une solution de formol tamponné à 10 %. Les caeca sont serrés, d'abord avec des pinces puis avec un fil en coton pour éviter des pertes de contenu et immédiatement congelés, puis conservés à -70°C jusqu'à la préparation pour les analyses.

Dans la 2^{ème} expérience, 27 porcelets de 2^{ème} âge sont utilisés pour évaluer la digestibilité fécale des principaux nutriments des régimes suivant la procédure n° : 1398 approuvée par le Comité d'Ethique en Expérimentation Animale de l'IRTA. Les animaux ayant de la diarrhée ou présentant des signes de pathologies diverses sont exclus de l'expérience. Après une période d'adaptation aux régimes expérimentaux pendant une semaine, les porcelets sont logés individuellement dans 9 cages de digestibilité, c'est-à-dire 3 porcelets par régime. Trois répétitions sont réalisées et dans chacune, 2 périodes consécutives de 4 jours d'adaptation et 3 jours de collecte sont considérés. Les animaux sont pesés individuellement chaque semaine, au moment du changement de période. Les fèces sont prélevées intégralement chaque jour et sont congelées avant d'être échantillonnées. Au total 54 échantillons, soit 18 par régime, sont prélevés, puis lyophilisés avant de les envoyer au laboratoire pour analyses chimiques. Les urines sont également prélevées quotidiennement afin de mesurer leur contenu en azote.

1.2. Régimes expérimentaux

Deux régimes alimentaires de base sont formulés suivant les recommandations pour les porcelets en 1^{er} et en 2^{ème} âge (Tableau 1). Ceux du lot témoin sont distribués tels quels tandis que les porcelets des 2 lots expérimentaux reçoivent les aliments de base additionnés de levures ou de parois de levures à raison de 1 g/kg d'aliment. Tous les aliments sont en farine et distribués à volonté pendant 5 semaines.

Dans l'expérience 2, uniquement les aliments de 2^{ème} âge sont utilisés pour des mesures de digestibilité. Les animaux sont nourris à volonté pendant une semaine d'adaptation aux aliments et à raison de 90 g/kg PV^{0,75} par jour pendant les périodes de mesure. Les refus d'aliment sont prélevés quotidiennement, puis séchés avant d'être pesés.

1.3. Analyses de laboratoire

L'analyse des teneurs en matière sèche, cendres, protéine brute, matières grasses et énergie brute des aliments et des fèces est effectuée au laboratoire selon les procédures classiques. Les fibres au détergent neutre (NDF), au détergent acide (ADF) et la lignine sont déterminées selon la méthode de Van Soest et al. (1991).

Tableau 1 - Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes alimentaires de base ⁽¹⁾

	1^{er} âge	2^{ème} âge	Digestibilité
Ingrédients (g/kg)			
Maïs	111,8	203,9	200,8
Orge	200,0	180,0	170,0
Blé	100,0	119,2	138,8
Lactosérum	140,0	60,0	60,0
Conc. protéines pomme de terre	11,6	---	---
Remoulage de blé	30,0	30,0	30,0
Tourteau de soja 48 %	229,0	239,0	224,8
Graines de soja extrudées	36,8	23,1	30,4
Pulpe de betterave	30,0	40,0	40,0
Saindoux	60,0	50,0	50,0
Phosphate bicalcique	21,6	25,0	22,8
Carbonate de calcium	7,5	6,6	8,0
L-lysine-HCl	2,4	3,6	4,2
DL-méthionine	1,8	1,5	1,7
L-thréonine	0,8	1,2	1,5
L-tryptophane	0,1	0,2	0,3
Sel	2,5	2,7	2,7
Sépiolite	10,1	10,0	10,0
CMV ⁽²⁾	4,0	4,0	4,0
Caractéristiques nutritionnelles (g/kg)			
Energie brute (Mcal/kg) ⁽³⁾	4,24	4,15	4,23
Energie métabolisable (Mcal/kg) ⁽⁴⁾	3,34	3,27	3,27
Energie nette (Mcal/kg) ⁽⁴⁾	2,52	2,45	2,45
Matière sèche ⁽³⁾	906,3	899,9	898,9
Protéine brute ⁽³⁾	210,1	200,1	191,5
Fibre brute ⁽³⁾	33,7	34,5	39,4
Matières grasses ⁽³⁾	81,6	73,5	72,3
Cendres ⁽³⁾	77,8	75,4	71,9
Fibres détergent neutre ⁽³⁾	116,3	123,8	148,9
Fibres détergent acide ⁽³⁾	35,8	37,2	44,4
Lignine ⁽³⁾	2,1	2,6	4,4
Phosphore digestible ⁽⁴⁾	4,8	4,8	4,5
Lysine ^(4,5)	11,9	11,4	11,5

⁽¹⁾ Les levures *S. cerevisiae* (Biosaf®, LFA, France) ou leurs parois (Safmannan®, LFA, France) sont incorporés à raison de 1 g/kg directement sur les aliments de base.

⁽²⁾ Composition du pré-mélange de minéraux et vitamines par kg d'aliment : Vitamine A : 10000 IU ; Vitamine D₃ : 2000 IU ; Vitamine E : 15 mg ; Vitamine B1 : 1,3 mg ; Vitamine B2 : 3,5 mg ; Vitamine B₁₂ : 0,025 mg ; Vitamine B₆ : 1,5 mg ; Panthotenate de calcium : 10 mg ; acide nicotinique : 15 mg ; Biotine : 0,1 mg ; acide folique : 0,6 mg ; Vitamine K₃ : 2 mg ; Fe : 80 mg ; Cu : 6 mg ; Co : 0,75 mg ; Zn : 150 mg ; Mn : 60 mg ; I : 0,75 mg ; Se : 0,10 mg ; Ethoxiquin : 0,15 mg.

⁽³⁾ Données d'analyse au laboratoire.

⁽⁴⁾ Données de formulation des régimes.

⁽⁵⁾ Lysine digestible iléale standardisée.

Le sang est prélevé dans des tubes (5 ml) héparinisés lesquels sont envoyés à un laboratoire externe (Laboratorios Domingo, Tarragona) pour les déterminations analytiques de composition cellulaire. Les paramètres considérés sont l'hématocrite, le nombre d'hématies, le volume corpusculaire, l'hémoglobine, l'hémoglobine corpusculaire, la concentration de l'hémoglobine corpusculaire moyenne (CHCM), le nombre et le typage des leucocytes (lymphocytes, neutrophiles, éosinophiles et monocytes). Les déterminations sont effectuées automatiquement avec un auto-analyseur ADVIA (Bayer Diagnostics, Allemagne).

L'étude histologique a été faite en accord avec les procédures décrites par Nofrarías et al. (2006). Les mesures des villosités et des cryptes sont réalisées au microscope optique pourvu d'un oculaire avec un micromètre linéaire (Olympus, Ref. 209-35040, Microplanet, Barcelone) et le nombre de lymphocytes intra-épithéliaux est déterminé sur les mêmes préparations.

Pour l'analyse de la concentration en acides gras volatils (AGVs), un échantillon d'environ un 1 g du contenu du caecum est prélevé et mélangé à une solution de chlorure de mercure contenant de l'acide 4-méthylvalérique. Les échantillons sont ensuite

préparés pour les analyses au chromatographe de gaz avec détecteur d'ionisation de flamme (Agilent 6890N).

1.4. Analyse statistique

Toutes les données sont analysées selon la procédure GLM du logiciel SAS[®]. Pour les performances des animaux, un modèle prenant en compte le traitement expérimental et le bloc de poids vif est utilisé. L'unité expérimentale correspond au groupe d'animaux logés ensemble. Pour les paramètres sanguins, la morphologie ou les AGVs, les animaux sont pris au hasard parmi le groupe d'animaux logés ensemble. Dans ce cas, l'unité expérimentale correspond à l'individu et le bloc de poids vif est enlevé du modèle statistique.

Pour les coefficients de digestibilité et de rétention d'azote, l'unité expérimentale correspond à l'individu et le modèle statistique tient en compte le traitement expérimental, la répétition du schéma expérimental et la période de mesures. La comparaison des moyennes des traitements s'effectue selon un test de Student-Newman-Keuls pour toutes les données.

2. RÉSULTATS

En 1^{er} âge, les porcelets ingèrent environ 330 g/j d'aliment et présentent un gain moyen quotidien (GMQ) d'environ 220 g/j, similaire entre traitements (Tableau 2). Par contre en 2^{ème} âge, la consommation devient plus importante (1390 g/j) et le GMQ des animaux des régimes expérimentaux significativement plus élevé ($P < 0,001$). Sur l'ensemble de l'essai, on observe une consommation d'aliment de 735 g/j et une nette amélioration du GMQ ($P < 0,03$) et du PV ($P < 0,02$) chez les animaux expérimentaux. Les porcelets des groupes levures et parois de levures sont plus lourds d'environ 1,5 kg. Malgré l'absence de différence significative, on remarque également une tendance à l'amélioration

de l'indice de consommation avec les régimes contenant les levures ou leurs parois, quelle que soit la période envisagée.

Les résultats de composition cellulaire du sang, la morphologie intestinale et la production d'AGVs sont présentés dans le tableau 3. Les traitements alimentaires n'ont aucun effet sur le nombre d'hématies, la concentration d'hémoglobine, le nombre de leucocytes ou le typage de ces cellules ($P > 0,10$). La hauteur des villosités et la profondeur des cryptes intestinales ne sont pas affectées par les traitements expérimentaux ($P > 0,10$). Au contraire, on observe avec les régimes levures ou leurs parois une diminution du nombre de lymphocytes intraépithéliaux par rapport à 100 entérocytes ($P = 0,07$). On observe également une tendance à l'augmentation de la production d'AGVs dans le contenu du caecum par les régimes contenant les levures ou leurs parois. Les proportions relatives des AGVs varient également : le pourcentage d'acétate augmente avec ces mêmes régimes au détriment des autres et en particulier du valérate ($P < 0,05$).

Dans la 2^{ème} expérience, bien que les porcelets soient logés en cages et malgré la restriction alimentaire à laquelle ils sont soumis, on observe des performances assez similaires à celles observées dans l'expérience de croissance, voire une amélioration du GMQ chez les animaux du groupe levures ($P < 0,04$; Tableau 4). La digestibilité fécale de la matière sèche, matière organique, énergie, protéine et matières grasses est similaire entre les traitements expérimentaux ($P > 0,10$). Par contre, la digestibilité de la fraction minéraux présente une tendance à être plus élevée pour les régimes ayant des levures ou leurs parois ($P = 0,08$). On remarque également une augmentation hautement significative de la digestibilité des fibres au détergent neutre, des hémicelluloses et même de la fraction lignine avec ces mêmes régimes ($P < 0,001$). Cet effet ne s'observe pas pour les fractions fibre brute, fibres au détergent acide ou la cellulose ($P > 0,10$). Concernant la rétention d'azote, on note une amélioration

Tableau 2 - Effet de l'incorporation de levures ou de leurs parois dans les régimes sur les performances zootechniques des porcelets après le sevrage (Expérience 1) ⁽¹⁾

	Régimes			Analyse statistique	
	Témoin	Levures	Parois levure	Régime	ETR
1^{er} âge (3 semaines)					
PV initial, kg	7,90	7,99	8,05	NS	0,13
CA, g/j	322	338	327	NS	27
GMQ, g/j	209	234	220	NS	29
IC, kg/kg	1,58	1,48	1,52	NS	0,12
2^{ème} âge (2 semaines)					
PV intermédiaire	13,28	12,89	12,73	NS	0,91
CA, g/j	1054	1072	1112	NS	103
GMQ, g/j	569b	649a	659a	0,001	34
IC, kg/kg	1,86	1,65	1,68	0,12	0,30
Post-sevrage (5 semaines)					
CA, g/j	602	619	627	NS	62
GMQ, g/j	347b	392a	388a	0,04	29
IC, kg/kg	1,75	1,58	1,62	0,12	0,23
PV final, kg	19,69b	21,32a	21,30a	0,02	0,90

⁽¹⁾ ETR : écart type résiduel du modèle ; PV : poids vif ; CA : consommation quotidienne d'aliment ; GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation.

Tableau 3 - Effet de l'incorporation de levures ou de leurs parois dans les régimes sur quelques paramètres sanguins et immunitaires, la morphologie intestinale et la production d'acides gras volatiles dans le caecum (Expérience 1)⁽¹⁾

	Régimes			Analyse statistique	
	Témoin	Levures	Parois levure	Régime	ETR
Paramètres sanguins					
Hématocrite, %	36,0	38,7	39,1	NS	3,1
Hématies, 10 ¹² /L	6,3	6,5	6,6	NS	0,4
Index d'anisocytose, %	22,2	21,6	22,0	NS	1,6
Hémoglobine, g/dL	11,2	12,1	12,2	NS	0,8
Volume corpusculaire, fL	57,4	59,5	59,5	NS	3,6
Hémogl. corpusculaire, pg	17,8	18,6	18,5	NS	0,9
CHCM, g/dL ⁽¹⁾	31,1	31,4	31,2	NS	0,7
Leucocytes, 10 ⁹ /L	10,2	10,3	7,5	NS	2,2
Lymphocytes, %	46,8	46,4	50,2	NS	7,4
Neutrophiles, %	47,8	47,6	44,0	NS	7,5
Eosinophiles, %	2,50	2,29	2,67	NS	0,63
Monocytes, %	2,83	3,71	3,17	NS	0,91
Morphologie intestinale					
Hauteur des villosités, µm	596	559	597	NS	90
Profondeur des cryptes, µm	285	284	268	NS	40
Ratio villosités / cryptes	2,21	2,03	2,34	NS	0,41
Lymphocytes intraépithél. ⁽²⁾	21,8	19,0	18,6	0,07	2,8
Acides gras volatiles					
Production totale, mg/g	7,96	9,44	9,15	NS	2,09
Acétate, %	47,8b	53,0a	51,2ab	0,05	4,0
Propionate, %	35,2	33,9	33,1	NS	4,5
Butyrate, %	13,2	11,0	12,9	NS	3,0
Valérate, %	2,6a	1,1b	1,7b	0,02	1,0

⁽¹⁾ ETR : écart type résiduel du modèle ; CHCM : concentration d'hémoglobine corpusculaire moyenne.

⁽²⁾ L'unité correspond au nombre de lymphocytes intraépithéliaux par 100 enterocytes trouvés dans la muqueuse intestinale (Nofrarías et al., 2006).

significative des coefficients avec le régime contenant les parois de levures, quelle que soit la façon de les calculer. Par ailleurs, on observe une très nette augmentation de la rétention, exprimée en grammes d'azote retenu par jour, pour les animaux nourris avec les régimes comportant des levures ou leurs parois ($P < 0,01$), ce qui est en totale cohérence avec l'amélioration du GMQ observée dans les deux expériences.

3. DISCUSSION

L'incorporation de levures ou de leurs parois dans les régimes des porcelets en post-sevrage améliore les performances zootechniques des porcelets en post-sevrage. Les résultats d'utilisation des levures sont en accord avec d'autres obtenus auparavant (Jurgens et al., 1997 ; Mathew et al., 1998 ; Bontempo et al., 2006 ; van der Peet-Schwering et al., 2007). Une situation similaire s'observe avec les parois de levures, ce qui est en accord avec l'amélioration de résultats rapportée par Pettigrew (2000) ou avec d'autres, plus récents, sur l'utilisation de mannanoligosaccharides (Davis et al., 2004). De la même façon, il existe des études dans lesquelles il n'a pas été observé d'amélioration de résultats avec les levures ou ses fractions (Kornegay et al., 1995 ; LeMieux et al., 2003 ; Burkey et al., 2004). Dans une synthèse des résultats de 17 essais chez le porcelet, Pettigrew (2000) arrive à la conclusion que les parois des levures peuvent contribuer à une amélioration d'environ 4 % du GMQ en post-sevrage, ce qui est inférieur à l'amélioration permise par l'utilisation des APC (NRC,

1998). Même si l'ordre de grandeur est inférieur, l'amélioration de la consommation ou de la conversion d'aliment est plus en accord avec les résultats du NRC (1998). Dans l'étude de synthèse par la méthode de holo-analyse, Rosen (2006) arrive à des conclusions similaires pour un taux d'incorporation des fractions de parois de levures de 1,94 g/kg. Les différentes conditions expérimentales, le type de produit utilisé, le type d'animal ou son état sanitaire peuvent contribuer aux différents résultats que l'on trouve dans la bibliographie. L'exact mécanisme d'action des levures ou des fractions de leurs parois n'est pas encore clairement défini. Pour certains, elles pourraient avoir un effet d'exclusion de bactéries potentiellement pathogènes dû aux points d'ancrage apportés par le mannose présent dans les parois (Jann et al., 1981) tandis que d'autres auteurs évoquent une stimulation du développement de l'intestin ou de l'état immunitaire, qui leur permettrait d'être plus en alerte face aux pathogènes (Davis et al., 2004). Dans cette étude, on n'observe pas de différence de structure des villosités ou des cryptes entre les traitements expérimentaux, donc de la capacité d'absorption de nutriments par l'intestin. Les effets des traitements alimentaires sur la fonctionnalité de l'intestin s'observent surtout dans les premiers jours après le sevrage (Lallès et al., 2004 ; Nofrarías et al., 2006), période pendant laquelle on observe une susceptibilité accrue aux troubles digestifs, aux diarrhées et aux infections (Le Dividich et Sève, 2000 ; Lallès et al., 2004). Dans la présente étude, tous les porcelets sont abattus à la fin de l'essai et le moment du prélèvement de la muqueuse intestinale n'est

Tableau 4 - Effet de l'incorporation de levures ou de leurs parois dans les régimes sur les performances, l'utilisation digestive des nutriments et la rétention d'azote chez le porcelet en 2^{ème} âge (Expérience 2) ⁽¹⁾

	Régimes			Analyse statistique	
	Témoin	Levures	Parois levure	Régime	ETR
Performances de croissance					
PV initial, kg ⁽²⁾	15,31	15,27	15,00	NS	1,87
GMQ, g/j ⁽²⁾	392b	445a	411ab	0,04	38
CA, g/j ⁽³⁾	757	763	748	NS	69
IC, kg/kg ⁽³⁾	1,58	1,53	1,53	NS	0,35
PV final, kg ⁽²⁾	20,70	21,39	20,89	NS	1,76
Digestibilité fécale, % ⁽⁴⁾					
Matière sèche	82,8	83,9	83,1	NS	2,5
Minéraux	54,6	58,8	56,1	0,08	5,9
Matière organique	83,6	84,7	84,0	NS	2,6
Energie	83,5	84,7	84,0	NS	2,5
Protéine	79,5	80,6	80,2	NS	3,3
Matières grasses	88,6	89,4	89,9	NS	2,8
Fibre brute	57,8	59,1	55,5	NS	10,1
Fibres détergent neutre (NDF)	60,9b	70,3a	68,1a	0,001	5,7
Fibres détergent acide (ADF)	54,3	58,6	55,7	NS	8,7
Lignine (ADL)	3,6b	40,4a	35,6b	0,001	18,2
Hémicelluloses (NDF-ADF)	64,2b	75,0a	73,0a	0,001	5,2
Cellulose (ADF-ADL)	58,6	60,8	58,1	NS	8,4
Rétention d'azote					
Coeff. rétention, % ⁽⁵⁾	88,5ab	84,2b	89,3a	0,02	4,5
Coeff. util. pratique, % ⁽⁵⁾	66,7	66,9	70,3	0,11	4,8
Absorption journalière, g/j	16,9b	18,6a	18,5a	0,01	1,2
Rétention journalière, g/j	14,6b	15,7ab	16,5a	0,01	1,3

⁽¹⁾ ETR : écart type résiduel du modèle ; PV : poids vif ; CA : consommation quotidienne d'aliment ; GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation.

⁽²⁾ Données enregistrées entre le début et la fin des 3 semaines de durée de l'expérience.

⁽³⁾ Données enregistrées uniquement pendant la période de collecte des fèces.

⁽⁴⁾ L'effet de la période de collecte est non significatif ($P > 0,15$) pour tous les nutriments analysés sauf les matières grasses ($P = 0,02$), la lignine et la cellulose ($P = 0,06$).

⁽⁵⁾ Ces coefficients sont calculés par rapport à l'azote absorbé et ingéré, respectivement.

pas pris en compte. Van der Peet-Schwering et al. (2007) ne rapportent pas non plus une amélioration de ces paramètres après 5 semaines d'essai et n'ont trouvé aucune interaction entre l'âge et le régime. Par contre, Bontempo et al. (2006) ont effectivement observé avec l'utilisation de levures dans les régimes une amélioration des villosités, des cryptes et du ratio villosités / cryptes. Cependant, dans cette étude, la hauteur des villosités observée est de moins de la moitié de celle observée dans notre étude. Par ailleurs, on observe un nombre de lymphocytes intra-épithéliaux plus réduit, ce qui semble être un signe d'une moindre inflammation intestinale avec les régimes contenant les levures ou leurs parois. Ce résultat paraît également suggérer qu'il y aurait moins de pathogènes potentiels, grâce à la présence de levures ou de leurs fractions dans la lumière intestinale, en accord avec Bontempo et al. (2006). Même si dans le cas présent on n'observe pas de différence de composition cellulaire du sang, on remarque une tendance absolument similaire à celle observée par Davis et al. (2004) entre le nombre de lymphocytes et de neutrophiles avec le régime contenant les fractions des parois de levures : le pourcentage de neutrophiles diminue et celui des lymphocytes augmente dans le sang. Une fois que les neutrophiles sont la première ligne de défense dans la plupart des maladies ou des infections subcliniques, ces auteurs ont

conclu qu'une diminution de leur concentration sanguine dans le cas des porcelets nourris avec le régime contenant les parois de levures serait une conséquence d'une moindre inflammation intestinale ou d'un challenge immunitaire moins important. En outre, cette hypothèse est cohérente avec la réduction observée du nombre de lymphocytes intra-épithéliaux.

La production totale d'AGVs montre une tendance à une augmentation avec les régimes ayant des levures ou leurs parois, en accord avec l'augmentation de la digestibilité des fractions fibreuses des régimes. En plus, on observe une augmentation de la concentration de l'acétate au détriment des autres AGVs. L'information disponible sur ces aspects dans la bibliographie n'est pas abondante. Mathew et al. (1998) en utilisant des porcelets canulés et en effectuant des prises régulières dans le temps (7 jours de collecte à raison d'un prélèvement toutes les 3 ou 4 heures) n'ont pas pu mettre en évidence de différence de concentration des AGVs entre les jours ou les sites de prélèvement. Cependant, si on regarde plus en détail, les prélèvements du premier et du dernier jour, respectivement à 17 et 38 jours d'âge, montrent clairement une augmentation de la concentration en acétate avec les levures, surtout si l'aliment n'est pas granulé. Donc, les levures peuvent effectivement intervenir dans

le métabolisme des AGVs. Toutefois le mécanisme d'action reste à élucider et très probablement ne sera pas le même pour les levures ou les parois cellulaires.

L'incorporation de levures ou de leurs parois dans les régimes pour le porcelet ne semble pas influencer la digestibilité de la matière sèche, de la matière organique, de l'énergie ou des protéines en accord avec d'autres résultats (Kornegay et al., 1995 ; van Heugten et al., 2003). Par ailleurs, on observe une très nette amélioration de la digestibilité des fractions fibres au détergent neutre et des hémicelluloses dans notre étude. Ce résultat est en accord avec ceux de Kornegay et al. (1995) pour les régimes sans ou avec un faible taux incorporation de coques d'arachide et l'incorporation des levures. En plus, ces résultats confirmeraient la tendance d'augmentation de la production d'AGVs observée. Puisque dans la plupart des études, la méthode choisie a été celle des mesures indirectes à l'aide de marqueurs (pas de récolte d'urine), on ne trouve pratiquement pas de résultats concernant l'influence des levures sur la rétention d'azote. En dépit de cela, Spark et al. (2005) ont pu montrer un double effet de l'origine (brasserie, panification ou fromagerie) et du taux d'incorporation des levures dans les régimes sur la rétention d'azote. Par contre, ces auteurs n'ont pas pu démontrer de relation positive entre le coefficient de rétention et le gain de poids des porcelets. Dans notre étude, quand on exprime la rétention par rapport à l'azote ingéré, on observe une très claire amélioration avec les parois de levures,

qui se confirme totalement quand on l'exprime en grammes d'azote retenu par jour. Cette dernière expression des résultats montre également un avantage à l'utilisation des levures et confirme totalement l'amélioration des résultats de croissance observée dans les deux expériences.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude confirment les effets positifs de l'utilisation des levures et de leurs parois cellulaires dans les aliments sur les performances zootechniques des porcelets en post-sevrage. Leur mécanisme d'action dans le tractus digestif est complexe car multifactoriel ; il semble impliquer à la fois, le système immunitaire, l'équilibre de la microflore, l'utilisation préférentielle de certains nutriments (fibres, AGVs) ou le métabolisme de l'azote donc, la synthèse de protéines corporelles. En dépit de cela, le résultat final est plutôt favorable et l'influence des levures sur le métabolisme pourrait représenter une nouvelle approche d'explication de leur mécanisme d'action. C'est pourquoi, d'autres essais de métabolisme mériteraient d'être mis en place.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont très reconnaissants du soutien financier accordé par le Ministère d'Education et Science de l'Espagne (Projet AGL 2005-02856-GAN).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bontempo V., Di Giancamillo A., Savoini G., Dell'Orto V., Domeneghini C., 2006. Live yeast dietary supplementation acts upon intestinal morpho-functional aspects and growth in weanling piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 129, 224-236.
- Davis M.E., Maxwell C.V., Erf G.F., Brown D.C., Wistuba T.J., 2004. Dietary supplementation with phosphorylated mannans improves growth response and modulates immune function of weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 82, 1882-1891.
- Jann K., Schmidt G., Blumenstock E., Vosbeck K., 2001. *Escherichia coli* adhesion to *Saccharomyces cerevisiae* mammalian cells: role of piliation and surface hydrophobicity. *Infection Immunity*, 32, 484-489.
- Jurgens M.H., Rikabi R.A., Zimmerman D.R., 1997. The effect of active dry yeast supplement on performance of sows during gestation-lactation and their pigs. *J. Anim. Sci.*, 75, 593-597.
- Kornegay E.T., Rhein-Walker D., Lindemann M.D., Wood C.M., 1995. Performance and nutrient digestibility in weanling pigs as influenced by yeast culture additions to starter diets containing dried whey or one of two fiber sources. *J. Anim. Sci.*, 73, 1381-1389.
- Lallès J.-P., Konstantinov S., Rothkötter H.-J., 2004. Bases physiologiques, microbiologiques et immunitaires des troubles digestifs du sevrage chez le porcelet: données récentes dans le contexte de la suppression des antibiotiques additifs alimentaires. *Journées Rech. Porcine*, 36, 139-150.
- Le Dividich J., Seve B., 2000. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustment in the piglet. *Dom. Anim. Endocrinol.*, 19, 63-74.
- LeMieux F.M., Southern L.L., Bidner T.D., 2003. Effect of mannan oligosaccharides on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, 2482-2487.
- Mathew A.G., Chattin S.E., Robbins C.M., Golden D.A., 1998. Effects of direct-fed yeast culture on enteric microbial populations, fermentation acids, and performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 76, 2138-2145.
- Nofrarias M., Manzanilla E.G., Pujols J., Gibert X., Majó N., Segalés J., Gasa J., 2006. Effects of spray-dried porcine plasma and plant extracts on intestinal morphology and on leukocyte cell subsets of weaned piglets. *J. Anim. Sci.*, 84, 2735-2742.
- NRC, 1998. *The Nutrient Requirements of Swine*. 10 ed. National Academy Press, Washington, 190p.
- Pettigrew J. E., 2000. Mannan oligosaccharides effects on performance reviewed. *Feedstuffs*, 25, 12-14.
- Rosen G., 2006. Holo-analysis of the efficacy of Bio-Mos® in pig nutrition. *Anim. Sci.*, 82, 683-689.
- Rozeboom D.W., Shaw D.T., Tempelman R.J., Miguel J.C., Pettigrew J.E., Connolly A., 2005. Effects of mannan oligosaccharides and an antimicrobial product in nursery diets on growth performance of pigs reared on three different farms. *J. Anim. Sci.*, 83, 2637-2644.
- Spark M., Pascherz H., Kamphues J., 2005. Yeast (different sources and levels) as protein source in diets of reared piglets: effects on protein digestibility and N-metabolism. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 89, 184-188.
- Van der Peet-Schwering C.M.C., Jansman A.J.M., Smidt H., Yoon I., 2007. Effects of yeast culture on performance, gut integrity, and blood cell composition in weanling piglets. *J. Anim. Sci.*, 85, 3099-3109.
- Van Heugten E., Funderburke D.W., Dorton K.L., 2003. Growth performance, nutrient digestibility, and fecal microflora in weanling pigs fed live yeast. *J. Anim. Sci.*, 81, 1004-1012.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.