

Contribution des pertes endogènes et bactériennes au flux azoté iléal, selon le type de régime, chez le porcelet au sevrage

Jeannette KLUSS (1) Bernard SÈVE (2), Ulrich SCHOENHUSEN (1), Wolfgang B. SOUFFRANT (1)

*(1) Research Institute for the Biology of Farm Animals, RU Nutritional Physiology «Oskar Kellner» Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf, Germany
(2) INRA, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 St-Gilles, France*

Contribution des pertes endogènes et bactériennes au flux azoté iléal, selon le type de régime, chez le porcelet au sevrage

Les pertes iléales d'azote endogène, par dilution isotopique, la part de l'azote d'origine bactérienne, par la méthode à la D-alanine, ainsi que les digestibilités iléales de l'azote et des acides aminés ont été mesurées chez des porcelets préparés en anastomose iléorectale après sevrage à 28 jours. Quatre régimes ont été comparés, deux régimes de référence (orge-soja-lactosérum), l'un supplémenté en antibiotique l'autre non, et deux régimes expérimentaux, l'un à faible, l'autre à forte teneur en fibres apportées notamment par du lupin bleu. Après une période d'adaptation de 7 jours, l'opération et une récupération de 2 jours, les porcelets ont reçu pendant 10 jours des levures marquées à l'azote ^{15}N . Quatre jours après, les digesta iléaux ont été collectés quantitativement pendant deux jours. Le flux iléal d'azote bactérien était significativement plus élevé chez les porcs recevant les régimes de référence, supplémenté ou non, que dans ceux recevant le régime à faible teneur en fibres. Ce dernier régime présentait la digestibilité apparente de l'azote la plus élevée ($87,5 \pm 2,1$), supériorité confirmée par la digestibilité apparente des acides aminés totaux ($90,8 \pm 1,2$). Les différences de pertes endogènes entre régimes n'étaient pas significatives, quoique numériquement plus élevées avec le régime à forte teneur en fibres. La digestibilité réelle était la plus élevée avec le régime expérimental à faible teneur en fibres ($99,6 \pm 1,3$) significativement plus faible avec les régimes de référence ($91,7 \pm 1,3$ et $89,5 \pm 1,4$, +AB et -AB respectivement) et intermédiaire avec le régime enrichi en fibres ($95,4 \pm 1,4$).

Contribution of endogenous and bacterial losses to the ileal nitrogen flow, according to the type of diet, in piglets after weaning

A balance trial was conducted to estimate endogenous nitrogen losses (ENL), bacterial nitrogen and nitrogen and amino acid digestibilities at ileal level in ileorectostomized piglets after weaning at 28 d of age, applying ^{15}N tracer technique and D-alanine method. Weaners were fed four different starter diets: 2 reference diets with / without antibiotic and 2 home-produced diets with low/high fibre content. The ileal digesta were collected quantitatively, using ileorectal anastomosis, and endogenous and bacterial nitrogen, apparent and real ileal digestibility of nitrogen (AIDN and RIDN) and AID of amino acids (AIDAA) were determined. ENL did not differ between the dietary treatments, although numerically higher with the high fibre diet. Bacterial N content was significantly higher in the ileal digesta of pigs fed the reference diets, irrespective of antibiotic supplement, than in pigs fed the low fibre diet. AIDN and RIDN were significantly higher for the low fibre diet ($87.5 \% \pm 2.1$ AIDN, $99.6 \% \pm 1.3$ RIDN) than for the reference and high fibre diets, and the same applied for AIDAA, being $90.8 \% \pm 1.2$.

INTRODUCTION

Le sevrage est identifié comme l'une des périodes critiques en élevage porcin. La recherche d'une amélioration de la productivité a entraîné depuis une trentaine d'années une réduction progressive de l'âge au sevrage en Europe, jusqu'à 28 voire 21 jours d'âge. Pour cela, on acceptait une stagnation provisoire de la croissance des porcelets, résultant de la faiblesse du niveau d'ingestion liée à l'adaptation progressive à une alimentation sèche basée sur des matières premières d'origine végétale. Il fallait cependant maîtriser les troubles digestifs concomitants au moyen d'additifs alimentaires (sels de Zn ou Cu, antibiotiques) maintenant limités ou proscrits par les directives européennes récentes. Cette situation est à l'origine d'une réorientation des recherches porcines sur la période post-sevrage et particulièrement la santé du tube digestif.

Le devenir des protéines alimentaires dans le tube digestif du porcelet est un aspect important de cette question, eu égard à l'importance des besoins du porc en azote et en acides aminés. L'évaluation du flux iléal d'azote, en distinguant son origine alimentaire ou endogène, ainsi que son incorporation dans les protéines bactériennes, renseignent à la fois sur la disponibilité des acides aminés pour l'animal et sur la nature des substrats livrés aux fermentations caecales et coliques.

L'objectif du présent travail était d'évaluer les flux iléaux d'azote endogène et bactérien, ainsi que la digestibilité iléale apparente et réelle des protéines, chez des porcelets recevant après sevrage différents types de régimes. Pour cela, on

a utilisé des porcelets préparés chirurgicalement en anastomose iléorectale. Les pertes endogènes ont été estimées par une technique de dilution isotopique, le porcelet étant marqué par administration orale de levures cultivées en présence d'azote ^{15}N . La teneur en azote bactérien était estimée par le dosage de la D-alanine.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Vingt quatre porcelets Landrace allemands, appartenant à quatre bandes successives de l'élevage de l'Institut Oskar Kellner, ont été sevrés à 28 jours au poids moyen de $8,46 \pm 0,86$ kg. Ils ont été placés en cage de métabolisme et alimentés deux fois par jour. Après une semaine d'adaptation, les porcelets ont subi une opération chirurgicale sous anesthésie générale, consistant en une anastomose iléorectale (REDLICH et al, 1997) et la pose d'un cathéter permanent dans la veine jugulaire, suivie de deux jours de récupération. Au cours des dix jours suivants, les porcelets ont reçu à chacun de leur repas 1 g de levure marquée à l'azote ^{15}N . Après quatre jours sans distribution de levure, les digesta iléaux ont été collectés quantitativement pendant 2 jours. Des échantillons de sang ont été prélevés deux fois par jour dès le début de la distribution des levures. Le protocole de cette expérience a été approuvé par le comité d'éthique du ministère de l'alimentation, de l'agriculture, des forêts et de la pêche du Mecklembourg-Vorpommern.

A chaque bande, l'un des aliments de sevrage suivants a été étudié (tableau 1) : deux aliments dits de référence (programme européen HEALTHYPIGUT) orge-blé-soja renfermant du lactosérum et des protéines solubles de poisson, supplé-

Tableau 1 - Composition et analyse des régimes de sevrage comparés dans l'expérience

Ingrédients (%)	Réf,+AB	Réf,-AB	Ingrédients (%)	Loc,BF	Loc,HF
			Triticale broyé	24,00	17,00
Blé broyé	24,31	24,31		24,00	12,00
Orge broyée	24,50	24,50		31,00	18,00
Tourteau de soja	16,00	16,00			
			Lupin bleu (<i>Lupinus angustifolius</i> L.)	1,00	20,00
			Féverole (<i>Vicia faba</i> L.)	1,14	4,50
			Pois (<i>Pisum sativum</i> L.)	4,00	0,00
			Son de blé	2,20	18,52
			Gluten de blé	5,00	2,00
Maltodextrine	3,80	4,00			
Lactosérum, déshydraté	15,00	15,00			
Concentré soluble de poisson	8,25	8,25	Farine de poisson	4,00	3,00
Huile de tournesol	2,80	2,80	Huile de soja	0,50	1,50
Complément minéral et vitaminique	4,00	4,00		2,50	3,00
Antibiotic Premix 1	0,20	0,00			
L-Lysine HCl	0,13	0,13		0,50	0,36
L-Thréonine	0,13	0,13		0,15	0,09
DL-Méthionine	0,85	0,85		0,00	0,03
L-Tryptophane	0,03	0,03		0,01	0,00
Analyse (%)					
Matière sèche	89,80	90,13		88,95	88,82
Matières minérales	7,74	7,53		4,08	5,28
Matières azotées totales	21,33	21,69		19,01	20,85
Matières grasses	4,42	4,67		2,86	4,27
Cellulose brute	2,81	2,75		3,66	6,74

menté ou non par 40 ppm d'avilamycine (réf.+AB et réf.-AB), deux aliments à base de céréales et de graines de légumineuses produits localement l'un à faible teneur en fibre, renfermant du gluten de blé et de la farine de poisson (loc.BF, 3 % de cellulose brute), et l'autre à forte teneur en fibres, renfermant du son de blé et du lupin bleu (loc.HF, 8% de cellulose brute). Ces deux derniers aliments ne comportaient pas de supplémentation en antibiotiques. Les régimes étaient approximativement iso-énergétiques, iso-protéiques et formulés pour couvrir les besoins nutritionnels des porcelets selon le NRC (1998).

Les aliments, et les digesta iléaux ont été analysés pour leur teneur en matière sèche par la méthode Weender, en azote par la méthode Dumas (Leco CNS-2000, Leco® Instrumente GmbH, Moenchengladbach, RFA) et en acides aminés par chromatographie d'échange d'ions (Biochrom 20 plus, Biochrom Ltd., Cambridge, GB). Les enrichissements en azote ^{15}N ont été mesurés dans les digesta iléaux et les plasmas sanguins (fraction TCA-soluble) par spectrométrie de masse (couplage EA-IRMS, DELTA S, Thermo Finnigan, RFA). Les teneurs en D-alanine, utilisée comme marqueur de l'azote bactérien, ont été déterminées dans les digesta et les régimes selon la méthode de GARRETT et al (1987). Les données ont été analysées statistiquement par analyse de variance, suivie des comparaisons de moyennes par le test de Tukey (SAS system, version 8).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans une expérience parallèle, des porcelets intacts avaient très bien utilisé le régime à haute teneur en fibres. Cependant, des difficultés importantes ont été rencontrées lors de l'adaptation des porcelets anastomosés à ce régime, probablement en raison de l'absence de gros intestin fonctionnel. De ce fait, pour obtenir le nombre requis d'observations, les mesures sur ce régime ont nécessité deux bandes supplémentaires. De plus, 4 porcelets ont dû être éliminés principalement en raison d'une consommation d'aliment très insuffisante au moment des mesures, le nombre de données par régime expérimental étant finalement de 6, 4, 5 et 5 pour les régimes réf.+AB, réf.-AB, loc.BF and loc.HF, respectivement. Les poids moyens des porcelets au moment des mesures, étaient respectivement de $11,6 \pm 0,36$, $11,2 \pm 0,30$, $10,00 \pm 0,98$ et $7,10 \pm 0,57$ (moyennes \pm SEM). Le poids significativement plus faible des porcelets du dernier régime reflète le fait que les porcelets ont tardé considérablement à l'accepter. Finalement, les quantités de matière sèche ingérées ont été respectivement de $62,8 \pm 5,7$, $88,6 \pm 7,0$, $96,0 \pm 6,3$ et $104,8 \pm 6,3$ g/kg PV^{0,75}. Ces données sont en définitive satisfaisantes pour le régime loc.HF.

Cependant, la valeur significativement plus faible observée avec le régime réf.+AB doit être considérée comme un autre artefact expérimental. Cette valeur s'explique à la fois par un effet bande et par un ralentissement de l'ingestion à un moment où le passage d'un aliment premier âge à un aliment deuxième âge devrait intervenir.

Les coefficients d'utilisation digestive iléale apparente de l'azote (CUDIAN, %) étaient très proches avec les aliments réf.+AB, réf.-AB et loc.HF ($79,2 \pm 2,3$, $77,3 \pm 1,9$ et $78,3 \pm 2,1$, respectivement). Toutefois, le CUDIAN obtenu avec l'aliment loc.BF ($87,5 \pm 2,1$) à faible teneur en fibres était significativement plus élevé que celui des trois autres régimes (tableau 2). La présence de protéines solubles de poisson et de lactosérum dans le régime de référence ne semble donc pas favoriser spécialement une bonne utilisation digestive, peut-être dégradée en présence d'un tourteau de soja de qualité médiocre. En revanche, le bon résultat obtenu avec le régime loc.HF, malgré sa teneur élevée en son de blé, pourrait s'expliquer par une bonne utilisation digestive des protéines de lupin bleu en accord avec MARISCAL-LANDIN et al (2002). En correspondance avec ces derniers résultats, le régime loc.BF présentait également un CUDIA significativement plus élevé de la somme des acides aminés ($90,8 \pm 1,2$) que les 3 autres régimes ($80,6 \pm 1,1$, $80,8 \pm 1,4$ et $85,2 \pm 1,2$ avec les régimes + réf.AB, - réf.AB, et loc.HF, respectivement).

L'application de la méthode de dilution isotopique a permis d'évaluer les pertes azotées iléales d'origine endogène (tableau 3). Les valeurs obtenues sont plutôt plus élevées que celles enregistrées dans les expériences portant sur de jeunes porcs en croissance (ASCHE et al, 1989 ; HUISMAN et al, 1992 ; SCHULZE et al, 1995 ; GRALA et al, 1998). Les pertes endogènes peuvent être réparties en pertes non spécifiques ou basales, indépendantes de la nature de l'aliment et en pertes spécifiques des ingrédients alimentaires (SÈVE et HENRY, 1996 ; BOISEN et MOUGHAN, 1996). Exprimées par 100 g de matière sèche ingérée, les pertes basales diminuent lorsque le poids des porcs augmente, et elles augmentent lorsque l'ingestion alimentaire est insuffisante (MARISCAL-LANDIN et al 1995 ; HESS et SÈVE, 1999). Les valeurs obtenues ici sont au moins deux fois plus élevées que celles rapportées dans la bibliographie pour les pertes endogènes basales (WÜNSCHE et al, 1987 ; MARISCAL-LANDIN et al, 1995 ; HESS et SÈVE, 1999). Ceci s'explique d'abord par le fait que les porcelets sont plus jeunes et plus légers que ceux des références précédentes au moment des mesures. De plus, ces pertes peuvent être en partie spécifiques des ingrédients alimentaires utilisés et, à ce jour, on manque d'information sur le rôle de l'âge ou du poids des porcs dans les pertes endogènes dites spécifiques.

Tableau 2 - Digestibilité apparente (CUDIA) de l'azote et des acides aminés totaux, et digestibilité réelle (CUDIR) de l'azote selon le régime de sevrage (moyennes ajustées \pm leurs écarts-types)

Régime de sevrage	CUDIA _N (%)	CUDIR _N (%)	CUDIR _{AA totaux} (%)
Référence avec antibiotique (réf.+AB)	$77,3 \pm 1,9^a$	$91,7 \pm 1,3^a$	$80,6 \pm 1,1^a$
Référence sans antibiotique (réf.-AB)	$79,2 \pm 2,3^{ab}$	$89,5 \pm 1,4^a$	$80,8 \pm 1,4^a$
Local bas en fibres (loc.LF)	$87,5 \pm 2,1^b$	$99,6 \pm 1,3^b$	$90,8 \pm 1,2^b$
Local haut en fibres (loc.HF)	$78,3 \pm 2,1^a$	$95,3 \pm 1,4^{ab}$	$85,2 \pm 1,2^a$

Dans une même colonne, les moyennes diffèrent significativement au seuil $P < 0,05$, lorsqu'elles sont accompagnées de lettres différentes.

Tableau 3 - Pertes iléales d'azote endogène et bactérien selon le régime de sevrage (moyennes ajustées \pm leurs écarts-types)

Régime de sevrage	N Endogène (g/100 g MAT ingérée)	N Endogène (g/100 g MS ingérée)	N Bactérien (g/100 g MAT ingérée)	N Bactérien (g/100 g MS ingérée)
Référence avec antibiotique (réf,+AB)	2,18 \pm 0,76	0,51 \pm 0,18	0,41 \pm 0,13 ^a	0,10 \pm 0,03 ^a
Référence sans antibiotique (réf,-AB)	1,64 \pm 0,30	0,39 \pm 0,07	0,39 \pm 0,07 ^a	0,09 \pm 0,02 ^a
Local bas en fibres (loc,LF)	1,94 \pm 0,91	0,41 \pm 0,19	0,18 \pm 0,07 ^b	0,04 \pm 0,01 ^b
Local haut en fibres (loc,HF)	2,83 \pm 1,14	0,66 \pm 0,27	0,28 \pm 0,13 ^{ab}	0,07 \pm 0,03 ^{ab}

Dans une même colonne, les moyennes diffèrent significativement au seuil $P < 0,05$, lorsqu'elles sont accompagnées de lettres différentes.

La variabilité de ces données est telle que les différences entre régimes ne sont pas significatives quel que soit le mode d'expression, en g/100 g de MAT ou en g/100 g de matière sèche ingérée. Une telle observation n'est pas surprenante chez des porcelets subissant un stress tel qu'une intervention chirurgicale, elle l'est d'autant moins dans le cas du régime loc.HF (voir ci-dessus). Il conviendrait donc d'augmenter le nombre de mesures par traitement expérimental. Toutefois, les différences entre les valeurs numériques observées obéissent à une logique connue. D'abord, les pertes mesurées avec le régime réf.+AB sont plus élevées que celles observées avec le régime réf.-AB, sans doute en raison d'un ingrédient alimentaire insuffisant (voir ci-dessus). Par ailleurs, le régime loc.HF donne une valeur plus élevée que les régimes réf.-AB et loc.BF, en conformité avec les données de la littérature montrant une stimulation des pertes endogènes par les fibres alimentaires (SOUFRANT, 2001 ; SÈVE et LAHAYE, 2003).

La correction des données de digestibilité apparente par les pertes endogènes ainsi mesurées permet de calculer les coefficients d'utilisation digestive iléale réelle de l'azote (CUDIRN) (tableau 2). Le niveau de ces valeurs est similaire à celui rapporté par HUISMAN et al (1992). Les résultats montrent que les CUDIRN des deux régimes de référence sont comparables ($91,7 \pm 1,3$ et $89,5 \pm 1,4$ pour +AB et -AB respectivement) et significativement plus faibles que celui du régime loc.BF ($99,6 \pm 1,3$). L'excellente utilisation digestive des protéines de lupin, déjà visible sur les données de digestibilité apparente est confirmée par la valeur intermédiaire obtenue avec le régime loc.HF ($95,3 \pm 1,4$), en dépit de sa teneur élevée en fibres.

La D-alanine est un acide aminé constitutif des protéines des parois bactériennes et sa détermination dans les digesta iléaux permet d'estimer la contribution de l'azote bactérien au flux azoté total à l'extrémité de l'intestin grêle. Jusqu'ici, cette méthode n'avait jamais été utilisée chez des porcelets mais seulement chez des ruminants (GREIFE et al, 1985). Les présents résultats donnent des valeurs comprises entre 8 et 12 % d'azote bactérien dans l'azote iléal total (figure 1). Or, on rapporte classiquement que la proportion de l'azote bactérien dans l'azote iléal est de l'ordre de 30 % chez des porcs en croissance (WÜNSCHE et al, 1991 ; DUGAN et al 1994). Les données bibliographiques, généralement obtenues par la méthode à l'acide diaminopimélique, sont-elles surestimées ou celles-ci sont-elles sous-estimées ? On ne peut guère argumenter en l'état actuel des choses. Mais il n'est pas impossible que chez des porcelets jeunes, la microflore

soit quantitativement moins développée que chez des porcs plus âgés.

Exprimée par 100 g de protéines ingérées ou par kg de matière sèche ingérée, la contribution de l'azote bactérien à l'azote iléal total est significativement plus faible avec le régime loc.LF qu'avec les deux régimes de référence (tableau 3), la valeur obtenue avec le régime HF étant intermédiaire, comme dans le cas de la digestibilité réelle. On note en particulier que l'addition d'antibiotique à l'aliment reste sans effet sur ce critère. Il semble donc que la contribution bactérienne soit plus en relation avec l'indigestible réel, c'est-à-dire avec l'azote alimentaire non digéré, qu'avec l'azote endogène. Toutefois, l'azote bactérien reste très significatif en l'absence quasi-totale d'azote résiduel alimentaire au niveau iléal (régime loc.BF). La question de l'origine de l'azote bactérien, endogène ou alimentaire est donc posée. La figure 1 a été construite en admettant une origine mixte dans une proportion égale au rapport azote endogène / azote alimentaire mesuré au niveau iléal par dilution isotopique. De cette façon, on admet implicitement que le pool précurseur de la synthèse des protéines microbiennes est constitué par l'azote iléal sans utilisation préférentielle de l'une ou l'autre source. Pour tester cette hypothèse et conclure définitivement, il faudrait évaluer l'enrichissement en azote ^{15}N de la D-alanine.

Finalement, la figure 1 permet d'approcher la composition de l'azote total à l'iléon terminal des porcelets au sevrage. L'azote endogène est la fraction majeure dans tous les cas.

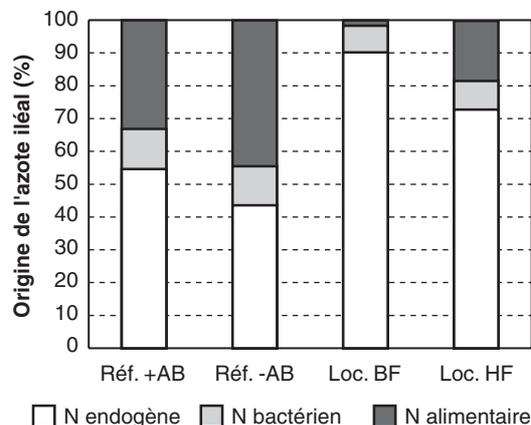


Figure 1 - Partition de l'azote iléal selon son origine, endogène, bactérienne ou alimentaire, et selon le régime de sevrage

Elle est plus importante encore dans le cas des deux régimes locaux, BF ou HF comparativement aux régimes de référence, la différence étant significative dans le cas de BF. Ceci est la conséquence de la présence de fractions alimentaires et bactériennes moins abondantes en relation avec une digestibilité réelle plus élevée.

CONCLUSIONS

La composition des régimes de sevrage influence la digestibilité apparente et réelle des matières azotées et des acides aminés d'une manière relativement inattendue. Un régime de sevrage de référence renfermant 15 % lactosérum déshydraté et 8,25 % concentré de protéines solubles de poisson présente une digestibilité apparente significativement plus faible que celle d'un régime BF renfermant 5 % de gluten de blé et 4 % de farine de poisson conventionnelle. On peut supposer que le régime de référence est déprécié par l'apport de 16 % d'un tourteau de soja de qualité médiocre, alors que le régime BF n'en renferme pas. Plus surprenante encore la bonne utilisation digestive d'un régime à forte teneur en fibres renfermant 18,5 % de fibres et 20 % de lupin bleu, que l'on peut attribuer à une excellente digestibilité des protéines de lupin bleu. On peut souligner à cet égard les avantages potentiels de ce type de produit pour remédier aux conséquences de l'hypersensibilisation aux protéines de soja parfois observée (FRIESEN et al, 1993). L'avantage est encore plus sensible sur la digestibilité réelle qui s'approche de celle du régime à faible teneur en fibres, une part numériquement plus importante de l'indigestible apparent étant constituée par de l'azote endogène.

Les pertes iléales d'azote endogène par 100 g de matière sèche ingérée paraissent nettement plus élevées que celles

mesurées chez des porcs plus âgés. Cependant la variabilité excessive, liée aux difficultés expérimentales rencontrées ne permet pas de mettre en évidence les différences entre régimes et particulièrement l'effet des fibres habituellement observé chez des porcs plus âgés. Les pertes iléales sous forme de protéines bactériennes apparaissent plus faibles que celles mesurées chez des porcs plus âgés. Les remaniements inévitables des acides aminés par la microflore iléale, faussant la mesure de leur digestibilité, seraient donc moins importants chez un animal plus jeune. Il est intéressant de constater que le flux iléal d'azote bactérien est significativement plus élevé avec les régimes de référence. Ceci pourrait être la conséquence d'une disponibilité plus importante de protéines alimentaires non digérées au niveau iléal (digestibilité réelle plus faible). Cette hypothèse devra être testée dans un travail complémentaire. Enfin, aucun effet de l'antibiotique sur l'utilisation digestive du régime n'a été mis en évidence, sans doute en raison du statut sanitaire élevé de l'élevage expérimental de Dummerstorf.

REMERCIEMENTS

À R. VILBOUX et G. GUILLEMOIS (UMRVP St-Gilles) pour la préparation et l'expédition des régimes de référence à Dummerstorf, ainsi qu'au personnel technique de l'unité expérimentale porcine et du laboratoire de physiologie de la nutrition à Dummerstorf.

Les auteurs remercient l'Union Européenne pour son soutien financier dans le cadre du projet européen HEALTHYPIGUT (contrat n° QLK5-CT-2000-00522). Les auteurs sont seuls responsables de la publication et le manuscrit ne représente pas l'opinion de la Commission Européenne qui ne peut pas être tenue pour responsable de l'information délivrée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASCHE G.I., LEWIS A.J. et PEO E.R. JR, 1989. *J.Nutr.* 119, 1083-1092.
- BOISEN, S., MOUGHAN, P.J., 1996. *Acta Agric. Scand.*, 46, 154-164.
- DUGAN M.E.R., SAUER W.C., DUGAN J.M., CAINE W.R., 1994. *J. Anim. Feed Sci.*, 3, 149-159.
- FRIESEN K.G., GOODBAND R.D., NELSSON J.L., BILECHA F, REDDY D.N., REDDY P.G. et L.J. KATS, 1993. *J. Anim. Sci.*, 71, 2089-2098.
- GARRETT J.E., GOODRICH R.D., J.C. MEISKE, 1987. *J. Anim. Sci.*, 67, 735-743.
- GRALA W., VERSTEGEN M.W., JANSMAN A.J., HUISMAN J., VAN LEEUWEN P., 1998. *J. Anim. Sci.*, 76, 557-568.
- GREIFE H.A., ROOKE J.A. and D.G. ARMSTRONG, 1985. *Br. J. Nutr.*, 54, 483-492.
- HESS V., SÈVE B., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77, 3281-3288.
- HUISMAN J., HEINZ T., VAN DER POEL AF, VAN LEEUWEN P, SOUFFRANT W.B., VERSTEGEN M.W., 1992. *Br. J. Nutr.*, 68, 101-110.
- MARISCAL-LANDIN G., SÈVE B., COLLEAUX Y., LEBRETON Y., 1995. *J. Nutr.*, 125, 136-146.
- MARISCAL-LANDIN G., LEBRETON Y., SÈVE B., 2002. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 97, 183-198.
- NRC. Nutrient requirements of swine: 10th revised edition. 1998. Washington D.C., National Academy Press.
- REDLICH J., SOUFFRANT WB., LAPLACE JP., HENNIG U., BERG R., MOUWEN J.M.V.M., 1997. *Can. J. Vet. Res.*, 61, 21-27.
- SCHULZE H., VAN LEEUWEN P., VERSTEGEN M.W. et J.W. VAN DEN BERG, 1995. *J. Anim. Sci.*, 73, 441-448.
- SÈVE B., HENRY Y., 1996. In : NUNES A. F., PORTUGAL A. V., COSTA J. P., RIBEIRO J. R., eds. *Estação Zootecnica, Santarem (Portugal). Protein Metabolism and Nutrition. EAAP-Publication n° 81*, 59-82.
- SÈVE B., LAHAYE L., 2003. In: R.O. BALL, ed. *University of Alberta (Canada). Proc. 9th International Symposium on Digestive Physiology in pigs*, 263a-263y.
- SOUFFRANT W.B., 2001. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 93-102.
- WÜNSCHE J., VÖLKER T., SOUFFRANT W.B., BORGMANN E., 1991. *Arch. Anim. Nutr.*, Berlin, 41, 703-716.
- WÜNSCHE J., HERRMANN U., MUIHL M., HENNIG U., KREIENBRING F., ZWIERZ P., 1987. *Arch. Anim. Nutr.*, Berlin, 9, 745-764.

