

Bilans nutritionnels chez le porc selon la nature de l'amidon (blé ou maïs) et la source de protéines (poisson ou gluten)

Béatrice DARCY, J.P. LAPLACE

Avec la collaboration technique de G. DUCHASTEL, J.P. HAUTDUCŒUR,
R. LEVREL et Brigitte MOUROT

*I.N.R.A., Laboratoire de Physiologie de la Nutrition
Centre national de Recherches zootechniques
78350 Jouy-en-Josas (France)*

Résumé

Trente-deux porcs mâles castrés de race Large White (49 kg - 120 jours) ont été utilisés, pour déterminer comparativement l'utilisation digestive et métabolique de 4 aliments (tabl. 2) résultant de la combinaison factorielle de 2 amidons purifiés (de maïs ou de blé) et de 2 sources de protéines (farine de poisson ou gluten de blé). La digestibilité apparente, mesurée au niveau des fèces pour la matière sèche, la matière organique, l'azote et l'énergie, sont soumis à la fois aux effets de la source de protéines et de la nature de l'amidon : la digestibilité apparente est meilleure pour les régimes gluten que pour les régimes poisson, et pour les régimes maïs que pour les régimes blé. Par contre l'utilisation métabolique de l'azote uniquement influencée par la source de protéines, est meilleure pour les régimes poisson. Il en résulte pour ces derniers un meilleur coefficient d'utilisation pratique de l'azote, en l'absence de modification de l'utilisation métabolique de l'énergie digestible. Au total, l'influence de la nature de l'amidon est limitée à l'utilisation digestive des aliments. En ce qui concerne la source de protéines, les meilleurs coefficients d'utilisation digestive apparente, mais aussi la plus mauvaise utilisation métabolique de l'azote, sont le fait des régimes gluten. Pour ces derniers, la croissance médiocre des animaux paraît relever à la fois de cette mauvaise utilisation métabolique de l'azote et du niveau d'ingestion plus faible de ces régimes déséquilibrés et plus concentrés en énergie.

Par ailleurs, la confrontation de ces digestibilités apparentes mesurées au niveau des fèces, aux valeurs enregistrées pour les mêmes régimes au niveau de la jonction iléo-caecocolique (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981) montre que la digestibilité de l'azote est toujours plus élevée au niveau des fèces qu'à la fin de l'intestin grêle, et ce d'autant plus que la digestibilité apparente de l'azote du régime considéré est plus faible. Enfin, la comparaison des digestibilités apparentes respectives de l'azote pour 2 régimes est beaucoup plus discriminante au niveau iléal qu'au niveau fécal.

Introduction

La technique des bilans nutritionnels est couramment utilisée pour évaluer d'une part l'utilisation digestive des aliments et d'autre part l'utilisation métabolique des nutriments qu'ils fournissent. L'utilisation digestive apparente globale a été mesurée

au niveau des fèces pour des sources alimentaires très variées (céréales, légumineuses, tourteaux...). Cependant ce type d'étude n'autorise pas l'exploration distincte des effets d'une source protéique ou d'une source d'amidon particulière ni celle de leur éventuelle interaction. Pour cette raison, le premier objet de ce travail est d'établir le bilan nutritionnel chez des porcs recevant des régimes synthétiques résultant de la combinaison factorielle de deux amidons purifiés (de maïs ou de blé) et de deux sources protéiques (farine de poisson ou gluten de blé).

TABLEAU 1

Moyenne (et écart-type de la moyenne) des poids vifs et des âges lors de la mise en lots et des poids vifs au début de la période de collecte pour chacun des groupes de 8 porcs affectés à l'un ou l'autre des quatre régimes expérimentaux

Mean (\pm S.E.M.) of the live weights and ages at the time of allotment, and of the live weights at the beginning of the collection period, for each group of 8 pigs allotted to one of the four experimental diets

Régime Diet	Amidon Starch	Maïs (Maize)		Blé (Wheat)	
	Protéine Protein	Gluten Wheat gluten	Poisson Fish meal	Gluten Wheat gluten	Poisson Fish meal
Lors de la mise en lots	Poids vif Live weight (kg)	49,3 \pm 0,8 ^a	49,0 \pm 0,7 ^a	49,3 \pm 0,7 ^a	49,1 \pm 0,6 ^a
At the allotment	Age (jours) Age (days)	120,0 \pm 2,3 ^a	122,2 \pm 2,3 ^a	119,0 \pm 2,0 ^a	119,6 \pm 2,0 ^a
	Poids vif (kg) au début de la collecte Live weight (kg) at the beginning of the collection period	52,3 \pm 1,0 ^b	58,8 \pm 1,0 ^b	53,3 \pm 0,7 ^b	60,7 \pm 0,6 ^c

Les moyennes, figurant sur une même ligne, indicées de lettres différentes, diffèrent significativement entre elles au seuil $p < 0,001$.

On the same line, the means indexed by different letters significantly differ at $p < 0.001$.

Par ailleurs, l'utilisation apparente établie au niveau fécal reste une approche très imparfaite de la digestion par l'animal en raison de l'interférence considérable de l'activité de la flore du gros intestin. L'évaluation de cette interférence est possible par l'étude comparative des digestibilités mesurées, pour un même aliment, au niveau de la jonction iléo-caeco-colique et des fèces. Cette approche constitue la seconde motivation du présent travail, dans la mesure où les mêmes aliments ont fait l'objet d'une étude au niveau gastro-duodéal (LAPLACE *et al.*, 1981) et au niveau de la jonction iléo-caeco-colique (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981).

Matériel et méthodes

Trente-deux porcs mâles castrés de race Large White sont mis en expérience au poids vif moyen de 49 kg environ et à l'âge de 120 jours (tabl. 1). Ces porcs sont répartis en deux répétitions successives de 16 animaux avec, pour chacune, 4 séries de 4 porcs affectés au hasard aux 4 régimes expérimentaux. Ces quatre aliments, dont la composition est détaillée dans le tableau 2, résultent de la combinaison factorielle de 2 amidons purifiés (de maïs ou de blé) et de 2 sources de protéines (farine de poisson ou gluten de blé).

TABLEAU 2
Composition des régimes utilisés
Percentual and analytical composition of the diets used

Aliment Diet	Amidon - Starch		Maïs - Maize	Maïs - Maize	Blé - Wheat	Blé - Wheat
	Protéine Protein		Gluten Wheat gluten	Poisson Fish meal	Gluten Wheat gluten	Poisson Fish meal
Constituants de l'aliment Ingredients	Amidon de maïs Maize starch		72,69	68,26	—	—
	Amidon de blé Wheat starch		—	—	72,69	68,26
	Farine de poisson Fish meal		—	21,65	—	21,65
	Gluten de blé Wheat gluten		17,48	—	17,48	—
	Cellulose - Cellulose ..		5,90	6,08	5,90	6,08
	Minéraux - Minerals ..		2,95	3,01	2,95	3,01
	Vitamines - Vitamins ..		0,98	1,00	0,98	1,00
Composition chimique Chemical composition	Matière sèche Dry matter (p. 100)	P ₁	89,82	90,00	89,77	90,37
		P ₂	89,05	90,48	88,53	89,13
	Azote Nitrogen (p. 100/M.S.)	P ₁	2,59	2,63	2,56	2,70
		P ₂	2,50	2,68	2,56	2,68
	Energie brute Crude energy (kcal/kg M.S.)	P ₁	4 274,7	4 145,9	4 275,3	4 211,4
		P ₂	4 221,5	4 227,3	4 296,2	4 223,2

La composition analytique est indiquée pour chacune des deux fabrications d'aliment (p₁ et p₂) respectivement utilisées au cours de la première et de la seconde répétition. Les valeurs rapportées représentent la moyenne des déterminations effectuées sur trois échantillons de chaque régime.

The analytical composition is indicated for the two consecutive fabrications (p₁ and p₂) of the diets, fed to pigs during the first and second repetition respectively. The values are the mean of the determinations performed on three samples from each diet. (M.S. : dry matter).

A compter de la mise en lots, le déroulement de l'expérience comporte consécutivement une période (10 jours) d'accoutumance à la cage et aux aliments, une période de précollecte (7 jours), au cours de laquelle est recherchée l'égalisation des niveaux d'ingestion, et une période de collecte (10 jours) réalisée en alimentation égalisée. Les porcs reçoivent systématiquement leur ration quotidienne en 3 repas présentés sous forme humide (farine diluée par 2 fois son poids d'eau), avec un abreuvement complémentaire à 13 heures. Les animaux sont pesés au début et à la fin de la période de collecte pour enregistrement des performances de croissance. Le poids vif moyen au début de la collecte est indiqué dans le tableau 1.

Au cours de la troisième période, les collectes fécales et urinaires quotidiennes sont traitées selon la méthodologie décrite par HENRY & RERAT (1966). On procède sur les échantillons représentatifs moyens (3 prises) du régime alimentaire et sur les prises aliquotes de l'homogénéat de fèces, à la détermination des cendres par incinération à 550 °C, de l'azote par la méthode KJELDAHL, de l'énergie par combustion dans un calorimètre adiabatique et de la matière sèche par séchage à l'étuve à 105 °C. Les teneurs en azote et en énergie des urines, préalablement lyophilisées, sont déterminées par les mêmes méthodes. A partir de ces diverses mesures on peut obtenir : pour l'aliment les quantités de matière sèche (MS), de matière organique (MO), d'énergie et d'azote, réellement ingérées ; pour les fèces les quantités excrétées de ces quatre mêmes fractions ; et pour les urines, les quantités d'azote et d'énergie excrétées par cette voie. On peut ainsi calculer les coefficients suivants :

- d'utilisation digestive apparente (CUDA) de la MS, et de la MO ;
- d'utilisation digestive apparente de l'azote, de rétention (CR) azotée, et d'utilisation pratique (CUP) de l'azote ;
- d'utilisation digestive apparente de l'énergie, et de rétention (CR) de l'énergie métabolisable (exprimée en p. 100 de l'énergie digestible).

On détermine aussi la valeur de l'énergie métabolisable, corrigée pour un bilan azoté nul et exprimée en Kcal/kg MS.

Les coefficients énumérés ci-dessus répondent aux modes de calcul suivants :

$$\text{CUDA} = \frac{\text{ingéré} - \text{fécal}}{\text{ingéré}} \text{ pour MS, MO, azote et énergie ;}$$

$$\text{CR} = \frac{\text{ingéré} - \text{fécal} - \text{urinaire}}{\text{ingéré} - \text{fécal}} \text{ pour azote et énergie métabolisable ;}$$

$$\text{CUP} = \frac{\text{ingéré} - \text{fécal} - \text{urinaire}}{\text{ingéré}} \text{ soit CUDA} \times \text{CR} \text{ pour l'azote.}$$

L'ensemble des résultats obtenus, pour les quatre régimes définis par le plan d'expérience, fait l'objet d'une analyse factorielle réalisée à l'aide du programme MODLI d'analyse de la variance (KOBILINSKY, 1980), mis en œuvre sur calculateur MITRA 125 (1). Les facteurs de variation pris en compte isolément dans le modèle sont au nombre de 3 : la nature de l'amidon (à 2 niveaux : blé et maïs), la source de

(1) Laboratoire de Biométrie, I.N.R.A., C.N.R.A., 78000 Versailles.

protéines (à 2 niveaux : poisson et gluten) et l'influence de la répétition (deux passages de 16 animaux). Les interactions d'ordre 2 sont les suivantes : amidon-protéine, protéine-répétition et amidon-répétition. L'interaction d'ordre 3 prend en compte les 3 facteurs : amidon - protéine - répétition.

Résultats

1. - *Croissance et consommation des animaux*

Le poids vif moyen des animaux selon le régime, homogène à la mise en lots (tabl. 1), a divergé significativement au cours des 17 jours d'accoutumance et de précollecte. Les différences enregistrées entre les poids vifs moyens au début de la période de collecte résultent d'un effet hautement significatif de la source de protéines, les porcs recevant les régimes poisson étant les plus lourds (tabl. 3). Par contre, il n'existe pas de différence pour ce critère entre répétitions. On retrouve pour les gains moyens quotidiens de poids vif un effet hautement significatif de la source de protéines, les gains de poids les plus faibles étant enregistrés pour les régimes gluten (tabl. 3). On note par ailleurs un effet hautement significatif du facteur répétition, avec des gains de poids supérieurs lors de la première répétition.

Les quantités de matière sèche ingérée et d'eau bue sont soumises aux deux mêmes facteurs de variation : un effet protéine avec moindre ingestion d'aliment et de boisson dans le cas des régimes gluten et un effet répétition correspondant à une prise d'aliment plus importante, mais à une prise de boisson plus faible, pour les porcs de la première répétition. L'effet protéine enregistré est à rapprocher de l'existence de refus relativement fréquents chez les porcs recevant les régimes gluten, en dépit de la mise en œuvre d'une alimentation égalisée.

2. - *Excrétion fécale et urinaire*

Deux facteurs de variation influent de manière significative sur la quantité totale de matière sèche fécale excrétée quotidiennement, et sur sa teneur en MS (tabl. 3) : la source protéique et la nature de l'amidon. La quantité de matière sèche fécale excrétée est significativement plus élevée dans le cas des régimes poisson par rapport aux régimes gluten et également dans le cas des régimes blé par rapport aux régimes maïs. Des variations de sens inverse sont observées quant aux teneurs en matière sèche, plus élevées en régime maïs qu'en régime blé et également plus élevées en régime gluten qu'en régime poisson. Par ailleurs, on n'observe aucun effet significatif des facteurs de variation étudiés sur les volumes d'urine émis journallement (tabl. 3).

3. - *Utilisation digestive et métabolique des régimes* (tabl. 4)

a) *Matière sèche et matière organique*

On observe un effet hautement significatif de la source de protéines et un effet significatif de la nature de l'amidon sur l'utilisation digestive apparente de la matière sèche et de la matière organique. Les CUDa correspondants sont les plus élevés pour les régimes gluten (vs poisson) et à un moindre degré pour les régimes maïs (vs blé).

TABLEAU 3
Croissance, consommation d'aliment et de boisson, excrétion fécale et urinaire selon le régime
Growth, food and water intake, faecal and urinary excretion according to the diet

Régimes — Diets		Poids vif (kg) <i>Live weight</i> (kg)	Gain de poids vif journalier (g) <i>Mean daily</i> <i>gain</i> (g)	Quantités ingérées <i>Ingested quantities</i>		Quantités excrétées <i>Excreted quantities</i>		Teneur en M.S. des fèces (p. 100) <i>Dry matter</i> <i>content of faeces</i> (p. 100)
Amidon <i>Starch</i>	Protéine <i>Protein</i>			Matière sèche <i>Dry matter</i> (g)	Eau (g) <i>Water</i>	Fèces — <i>Faeces</i> (M.S. - g)	Urine (ml) <i>Urine</i>	
Maïs <i>Maize</i>	Gluten <i>Wheat gluten</i>	52,5 ± 1,0	300 ± 30	1 376,6 ± 74,1	3 131 ± 234	60,7 ± 4,9	2 223 ± 231	60,82 ± 1,25
	Poisson <i>Fish meal</i>	58,8 ± 2,7	700 ± 54	1 609,7 ± 60,4	3 996 ± 239	129,4 ± 13,0	2 661 ± 255	57,69 ± 1,59
Blé <i>Wheat</i>	Gluten <i>Wheat gluten</i>	53,3 ± 0,7	362 ± 40	1 488,4 ± 76,1	3 442 ± 239	80,8 ± 7,0	2 414 ± 230	57,38 ± 1,23
	Poisson <i>Fish meal</i>	60,7 ± 0,6	672 ± 38	1 687,8 ± 12,5	4 206 ± 199	147,1 ± 4,3	2 654 ± 207	51,89 ± 2,03
Effets significatifs <i>Significant effects</i>		P*** F = 61,1	P*** F = 112,8 R*** F = 18,2	P*** F = 15,9 R** F = 10,3	P*** F = 15,7 R* F = 6,6	P*** F = 74,5 A* F = 5,8		A** F = 8,2 P* F = 7,1

Les valeurs moyennes (et les écarts types des moyennes) des poids vifs en début de période de collecte, des gains de poids vif journaliers, des quantités d'eau et de matière sèche (M.S.) ingérées, des quantités de matière sèche fécale et d'urine, ainsi que des teneurs en matière sèche des fèces sont rapportées pour chacun des groupes d'animaux affectés; à l'un ou l'autre des 4 régimes expérimentaux.

Les effets des facteurs de variation (P : source protéique; A : nature de l'amidon; R : répétition) sont indiqués, pour chacune des variables contrôlées, avec la valeur du F de Fisher et la signification au seuil $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***).

Mean values (\pm S.E.M.) of the live weights at the beginning of the collection period, of the mean daily weight gains, quantities of water and dry matter (M.S.) ingested, quantities of faecal dry matter and of urine excreted, as well as of the dry matter content of the faeces, for the groups of pigs allotted to each of the four diets.

The significant effects are indicated as follows (P : protein source; A : kind of starch; R : repetition) with the F ratio and the corresponding p value : $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***).

TABLEAU 4
Utilisation digestive et métabolique des régimes
Digestive and metabolic utilization of the diets

Régimes — Diets		CUDA matière sèche (p. 100) Dry matter	CUDA matière organique (p. 100) Organic matter	CUDA azote (p. 100) Nitrogen	Coefficient de rétention azotée (p. 100) Nitrogen retention coefficient	Coefficient d'utilisation pratique de l'azote (p. 100) Net protein utilization	CUDA énergie (p. 100) Crude energy	Energie métabolisable Metabolizable energy	
Amidon Starch	Protéine Protein							p. 100 de l'énergie digestible of digestible energy	Corrigée à bilan azoté nul Corrected for zero nitrogen balance
Maïs Maize	Gluten Wheat gluten	96,15 ± 0,26	97,18 ± 0,22	95,86 ± 0,42	27,78 ± 3,55	26,58 ± 3,35	96,47 ± 0,23	96,87 ± 0,30	3 934 ± 17
	Poisson Fish meal	92,22 ± 0,62	95,01 ± 0,42	92,52 ± 0,54	47,26 ± 2,03	43,76 ± 2,02	94,44 ± 0,43	96,53 ± 0,13	3 754 ± 26
Blé Wheat	Gluten Wheat gluten	94,91 ± 0,28	96,17 ± 0,28	94,43 ± 0,51	27,54 ± 2,07	26,00 ± 1,96	95,71 ± 0,28	96,80 ± 0,16	3 934 ± 14
	Poisson Fish meal	91,48 ± 0,24	94,40 ± 0,18	91,68 ± 0,36	49,52 ± 1,36	45,40 ± 1,25	93,71 ± 0,19	96,55 ± 0,07	3 749 ± 6
Effets significatifs Significant effects		P*** F = 96,3 A*	P*** F = 45,3 A*	P*** F = 57,9 A**	P*** F = 117,4 R**	P*** F = 97,2 R**	P*** F = 42,7 A*		P*** F = 184,0 A-P-R** F = 12,1 P-R* F = 6,4

Les valeurs moyennes (± SEM) de les écarts-types des moyennes) des coefficients d'utilisation digestive apparente (CUDA) de la matière sèche, de la matière organique, de l'azote, du coefficient de rétention azotée, du coefficient d'utilisation pratique de l'azote, du coefficient d'utilisation digestive apparente de l'énergie, de l'énergie métabolisable exprimée en p. 100 de l'énergie digestible et de l'énergie métabolisable ramenée à un bilan azoté nul et exprimée en kcal par kg de matière sèche du régime, sont rapportées pour chacun des groupes d'animaux affectés à l'un ou l'autre des régimes expérimentaux.

Les effets des facteurs de variation (P : source protéique ; A : nature de l'amidon ; R : répétition) et les interactions (P-R : protéine-répétition ; A-P-R : amidon-protéine-répétition) sont indiqués pour chacune des variables contrôlées avec la valeur du F de Fisher et la signification au seul p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***).

Mean values (± SEM) of the apparent digestion coefficients (CUDA) for dry matter, organic matter, and nitrogen, of the nitrogen retention coefficient, net protein utilization, apparent digestion coefficient for crude energy, of the metabolizable energy either as p. 100 of the digestible energy or corrected for a zero nitrogen balance as kcal per kg dry matter.

The significant effects (P : protein source ; A : kind of starch ; R : repetition) and the significant interactions (P-R : protein-repetition ; A-P-R : starch-protein-repetition) are indicated with the F ratio and the corresponding p value : p < 0,05 (*); p < 0,01 (**); p < 0,001 (***).

b) *Matières azotées*

On retrouve pour l'utilisation digestive apparente de l'azote les mêmes effets que ceux observés ci-dessus pour la matière sèche et la matière organique : meilleure digestibilité pour les régimes gluten d'une part, et pour les régimes maïs d'autre part. En ce qui concerne la rétention azotée, on observe également un effet hautement significatif de la source de protéines, mais de sens inverse : la rétention azotée s'avère meilleure dans le cas du poisson et moins bonne dans le cas du gluten. Ce résultat est confirmé par les quantités d'azote retenu (en g par jour) ; mais, exprimées en g par kg de gain de poids vif ces quantités ne diffèrent pas significativement selon les régimes (tabl. 5). L'utilisation pratique de l'azote (CUP) est, contrairement à l'utilisation digestive de l'azote, mais comme la rétention azotée, meilleure pour les régimes poisson que pour les régimes gluten.

On note aussi, en ce qui concerne la rétention azotée et le CUP de l'azote, un effet répétition et un effet d'interaction entre la source de protéines et la répétition : les valeurs considérées ont été globalement plus médiocres au cours de la première répétition (effet R) ; elles l'ont été plus spécialement pour les régimes gluten lors de la première répétition (effet P-R).

c) *Energie*

L'énergie brute des régimes utilisés est globalement plus élevée pour les aliments contenant du gluten ($p < 0,05$). Cet effet de la source de protéines est vérifié par l'analyse de variance dans le cas de l'énergie métabolisable, corrigée pour un bilan azoté nul. Celle-ci fait également l'objet d'interactions : l'énergie métabolisable des régimes gluten utilisés pour la première répétition est inférieure à la moyenne (effet P-R) avec cependant une valeur plus élevée pour l'aliment maïs-gluten au cours de cette même répétition (effet A-P-R). Le CUDA de l'énergie comme tous les autres CUDA, est meilleur pour les régimes gluten que pour les régimes poisson. Il est aussi meilleur pour les régimes à base de maïs que pour les régimes blé. En dépit de ces différences concernant la valeur énergétique du régime et l'utilisation digestive apparente de l'énergie, l'énergie métabolisable (en p. 100 de l'énergie digestible) ne fait l'objet d'aucune variation significative.

Discussion

1. - *Bilan nutritionnel*

Au total, on enregistre essentiellement dans cette expérience des effets de la nature de l'amidon et de la source protéique, sans qu'il y ait interaction entre ces deux facteurs. Un effet répétition est constaté pour un certain nombre de variables. Cet effet, qui témoigne d'un défaut d'homogénéité des animaux, se traduit par le meilleur gain de poids journalier des porcs de la première répétition. Cette particularité peut paraître curieuse puisque ces mêmes porcs présentent un coefficient de rétention et un CUP de l'azote plus faibles. Toutefois leur niveau d'ingestion de matière sèche plus élevé est susceptible d'expliquer les meilleures performances en dépit d'un coefficient de rétention azotée plus médiocre. Indépendamment de cet effet

répétition, les porcs affectés aux régimes gluten ont présenté une moindre croissance pondérale et une ingestion d'aliment sec et d'eau plus faible, à laquelle correspond l'émission d'une moindre quantité de matière sèche fécale sous une forme moins hydratée.

TABLEAU 5

Quantités moyennes (et écarts-types des moyennes) d'azote retenues selon le régime
Mean quantities (\pm S.E.M.) of nitrogen retained according to the diet

Régime Diet	Amidon Starch	Maïs - Maize		Blé - Wheat	
	Protéine Protein	Gluten Wheat gluten	Poisson Fish meal	Gluten Wheat gluten	Poisson Fish meal
en g par jour as g per day		9,60 ^a \pm 1,14	18,92 ^b \pm 0,81	10,27 ^a \pm 0,62	21,09 ^c \pm 0,58
en g par kg de gain de poids vif in g per kg live weight gain		37,73 ^a \pm 9,26	27,87 ^a \pm 1,91	31,97 ^a \pm 4,99	31,96 ^a \pm 1,77

Sur une même ligne, les moyennes indicées de lettres différentes, diffèrent entre elles au seuil $p < 0,05$.

On the same line, the means indexed by different letters differ at $p < 0.05$.

Tous les CUDa (MS, MO, azote et énergie) sont soumis aux deux effets protéine et amidon, avec de meilleures digestibilités pour les aliments gluten par rapport au poisson, et pour les aliments à base de maïs par rapport au blé. Mais on remarque que l'utilisation métabolique de l'azote est soumise au seul effet protéine, en l'absence de tout effet amidon. De plus, cette utilisation métabolique de l'azote est meilleure pour les régimes poisson dont l'utilisation digestive est la moins bonne.

Le CUP qui en résulte est également meilleur pour les régimes poisson. Cette plus grande fixation de l'azote (tabl. 5), répond de la meilleure croissance des porcs affectés au régime poisson. A cette plus grande fixation d'azote dans le cas des régimes poisson ne correspond pas une utilisation métabolique accrue de l'énergie digestible.

En ce qui concerne l'énergie, le meilleur CUD enregistré pour l'aliment gluten est à relier à un double phénomène : (i) la meilleure digestibilité de l'azote du gluten, prise en compte lors de la détermination de l'énergie des fèces à la bombe calorimétrique, (ii) la présence dans l'aliment gluten d'une plus grande quantité d'amidon, c'est-à-dire d'un substrat énergétique très digestible. Cette particularité, responsable de la valeur énergétique plus élevée des aliments gluten, et identifiée par l'analyse de variance comme un effet protéine, est inhérente au principe de l'expérience (formulation isoazotée des régimes poisson et gluten). La plus forte concentration en énergie des régimes gluten et surtout le déséquilibre en acides aminés du gluten de blé peuvent expliquer le niveau d'ingestion plus faible des aliments gluten par rapport aux aliments poisson moins concentrés en énergie et mieux équilibrés en acides aminés.

TABLEAU 6
 Comparaison des coefficients d'utilisation digestive apparente de l'azote (CUDaN) mesurés au niveau de l'iléon
 et au niveau des fèces, pour différents régimes
 Comparison of the apparent digestion coefficients for nitrogen (CUDaN), measured on ileal digesta and on faeces, according to the diet

Auteurs Authors	Régimes Diets	CUDaN iléon ileum	Δ Fèces-iléon Faeces-ileum	CUDa N fèces faeces	$\frac{\Delta \text{ régime/iléon}}{\Delta \text{ régime/fèces}}$ $\frac{\Delta \text{ diets/ileum}}{\Delta \text{ diets/faeces}}$
HOLMES <i>et al.</i> (1974)	Mais - tourteau de soja (Maize - soya bean meal)	79,9	+ 6,9	86,8	} + 85 p. 100
	Mais - tourteau de colza (Maize - rapeseed meal)	67,7	+ 12,5	80,2	
BRAUDE <i>et al.</i> (1975)	Orge - blé - poisson (Barley - wheat - fish meal)	75	+ 3	78	} - 16 p. 100
	Amidon - sucre - caséine (Starch - sucrose - casein)	91	+ 6	97	
HOLMES, BAYLEY & HORNEY (1973)	Maïs grain selon mode de conservation (Maize grain according to the mode of conservation)	70,7	+ 10,6	81,3	} + 25 p. 100
		76,5	+ 10,2	86,7	
		78,3	+ 9,1	87,4	
		77,6	+ 9,4	87,0	
		75,5	+ 9,2	84,7	
IVAN & FARRELL (1976)	Mais - caséine (Maize - casein)	89,47	+ 3,2	92,71	} + 62 p. 100
	Blé dur (Hard wheat)	85,61	+ 3,7	89,30	
	Blé tendre (Soft wheat)	80,39	+ 6,7	87,06	
WUNSCHÉ <i>et al.</i> (1979)	Régime « standard » (« Standard » diet)	72,7	+ 13,7	86,4	} + 114 p. 100
	Poudre lait écrémé (Skimmed dried milk)	86,4	+ 6,4	92,8	

ZEBROWSKA, BURACZEWSKA, BURACZEWSKI (1978)	Gluten de blé + lysine (<i>Wheat gluten + lysine</i>)	92,6	+ 1,8	94,4	+ 90 p. 100
	Blé + gluten de blé + lysine (<i>Wheat + wheat gluten + lysine</i>)	82,7	+ 6,5	89,2	
Ce travail et DARCY, LAPLACE, VILLIERS (1981) <i>and this paper</i>	Caséine (<i>Casein</i>)	87,0	+ 6,7	93,7	+ 111 p. 100
	Tourteau de soja (<i>Soya bean meal</i>)	72,4	+ 14,4	86,8	
	Féverole (<i>Horse bean</i>)	73,7	+ 9,6	83,3	+ 41 p. 100
	Orge + tourteau de soja (<i>Barley + soya bean meal</i>)	78,6	+ 6,2	84,8	
	Orge + concentré protéique (<i>Barley + protein concentrate</i>)	72,3	+ 11,0	83,3	+ 320 p. 100
Ce travail et DARCY, LAPLACE, VILLIERS (1981) <i>and this paper</i>	Mais - gluten (<i>Maize - wheat gluten</i>)	92,07	+ 3,8	95,86	+ 66 p. 100
	Mais - poisson (<i>Maize - fish meal</i>)	86,53	+ 6,0	92,52	
	Blé - gluten (<i>Wheat - wheat gluten</i>)	90,95	+ 3,5	94,43	+ 170 p. 100
	Blé - poisson (<i>Wheat - fish meal</i>)	83,55	+ 8,1	91,68	

Δ fèces — iléon est la différence : CUDA fèces — CUDA iléon exprimée en points de digestibilité.

Comparaison des différences entre régimes enregistrées d'une part au niveau iléal et d'autre part au niveau fécal, exprimée par le rapport :

$$\frac{\Delta \text{ régimes/iléon}}{\Delta \text{ régimes/fèces } (= 100)} = \frac{\left(\text{CUDA régime 1 iléon} \right) - \left(\text{CUDA régime 2 iléon} \right)}{\left(\text{CUDA régime 1 fèces} \right) - \left(\text{CUDA régime 2 fèces} \right)}$$

en prenant comme valeur 100 la différence des CUDA de l'azote au niveau des fèces.

Δ fèces — iléum represents the difference *CUDA fèces* — *CUDA iléum*, expressed as digestibility units.

Comparison of the differences between diets recorded either on ileal digesta or on faeces, and expressed by the ratio :

$$\frac{\Delta \text{ diets/iléum}}{\Delta \text{ diets/fèces}} = \frac{\left(\text{CUDA diet 1 iléon} - \text{CUDA diet 2 iléon} \right)}{\left(\text{CUDA diet 1 fèces} - \text{CUDA diet 2 fèces} \right)}$$

with the reference value 100 for the difference of the *CUDA* of nitrogen measured in the faeces.

En résumé, les résultats obtenus montrent que l'influence de la nature de l'amidon est limitée à l'utilisation digestive des aliments (meilleurs CUDa pour le maïs). Elle n'affecte ni leur utilisation métabolique, ni la croissance des animaux. En ce qui concerne la source protéique, on remarque que les aliments gluten pour lesquels sont enregistrés les meilleurs CUDa sont aussi ceux pour lesquels l'utilisation métabolique de l'azote est la plus mauvaise. En définitive, la croissance très médiocre avec les aliments gluten paraît relever tout à la fois de cette mauvaise utilisation métabolique de l'azote et du niveau d'ingestion plus faible pour ces régimes déséquilibrés et plus concentrés en énergie.

2. - Digestibilité apparente iléale vs fécale

Par rapport au bilan qui vient d'être établi, et pour les mêmes régimes, les résultats obtenus à la fin de l'intestin grêle (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981) sont les suivants :

- un effet protéine à l'égard de la digestibilité de la matière sèche (CUDa meilleur pour le gluten) ;
- un effet protéine à l'égard de la digestibilité de l'amidon (CUDa plus médiocre pour le gluten) ;
- un effet protéine et un effet amidon à l'égard de la digestibilité de l'azote (CUDa meilleurs pour le gluten et pour le maïs respectivement par rapport au poisson ou au blé) ;
- une interaction amidon-protéine à l'égard de la digestibilité de l'azote (association la plus défavorable : poisson-blé).

La comparaison des digestibilités apparentes à la fin de l'intestin grêle et au niveau des fèces a déjà été discutée par BURACZEWSKI (1980) en particulier pour l'azote. Sur la base des diverses informations bibliographiques réunies dans le tableau 6 pour des régimes variés, on constate que le CUDa de l'azote au niveau des fèces est constamment supérieur (Δ fèces-iléon) au CUD correspondant à la fin de l'intestin grêle. Les écarts enregistrés (Δ fèces-iléon) sont compris entre 1,8 et 14,4 points de digestibilité. A l'exception des résultats de BRAUDE *et al.* (1975) il apparaît que les écarts les plus faibles entre digestibilités iléale et fécale sont enregistrés pour les régimes offrant la plus forte digestibilité apparente de l'azote. Par ailleurs, l'étendue de la différence entre deux régimes enregistrée au niveau de l'iléon est, en règle générale, plus importante que l'étendue de la différence entre les deux mêmes régimes enregistrée au niveau des fèces. En prenant comme base 100 l'écart entre les CUDa de l'azote au niveau des fèces, pour deux régimes donnés, l'écart enregistré au niveau iléal correspond à un accroissement de la différence apparente entre ces régimes de l'ordre de 25 à 320 p. 100 (tableau 6, Δ régimes). Des différences analogues peuvent être enregistrées en ce qui concerne les CUDa de la matière sèche.

La digestibilité fécale prend en compte les remaniements importants des contenus digestifs dus à l'activité de la flore du gros intestin (RERAT, 1978). POPPE & MEIER (1977) ont émis l'hypothèse que les différences entre CUD mesurés au niveau iléal et au niveau fécal sont d'ordre méthodologique (site de dérivation iléale plus ou moins proximal). Cette hypothèse ne peut être soutenue face aux différences

que nous enregistrons entre digestibilité fécale et digestibilité mesurée sur les contenus recueillis par fistulation iléo-colique post-vasculaire (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981), c'est-à-dire au niveau de la jonction iléo-caeco-colique elle-même. L'existence effective de modifications dans le gros intestin ne peut donc être mise en doute. Toutefois, les travaux de ZEBROWSKA (1973) et de ZEBROWSKA, BURACZEWSKA & HORACZYNSKI (1978) conduisent à admettre que la digestion microbienne des matières azotées dans le gros intestin et l'absorption effective des produits de leur dégradation n'ont que peu d'intérêt nutritionnel pour l'animal, l'azote correspondant étant excrété en quasi-totalité dans les urines.

Compte tenu de ces divers éléments, discutés par RERAT (1978), il apparaît que le supplément de digestibilité apparente apporté (au niveau fécal) par la digestion dans le gros intestin n'intéresse pas réellement la nutrition azotée du Porc. Aussi, l'évaluation de la digestibilité apparente de l'azote des aliments à la fin de l'intestin grêle, qui permet une meilleure distinction entre régimes, semble-t-elle constituer un outil plus efficace pour raisonner la formulation des aliments. Cet outil est d'autant plus intéressant que : (i) les erreurs liées à la méthodologie sont exclues par la fistulation iléo-colique post-valvulaire qui fournit les digesta tels qu'ils sont réellement émis (en temps, quantité et composition) vers le gros intestin, (ii) la digestibilité dans l'intestin grêle de la source protéique considérée est moins bonne. La démonstration apportée de l'intérêt effectif d'un bilan à la fin de l'intestin grêle, sur la base de collectes de digesta reflétant exactement la réalité physiologique, confirme l'utilité de l'évaluation à ce niveau de la disponibilité des acides aminés, en particulier pour des sources protéiques nécessitant une supplémentation.

Accepté pour publication en mars 1981.

Summary

*Nutritional balances in pigs according to starch nature (wheat or maize)
and protein source (fish-meal or gluten)*

The apparent digestibility and metabolic utilization of four diets was comparatively determined, using 32 Large White castrated male pigs (49 kg live weight - 120 days old). The diets resulted (table 2) from the factorial combination of 2 purified starches (from maize or wheat) and 2 dietary protein sources (fish meal or wheat gluten). The apparent digestion coefficients of dry matter, organic matter, nitrogen and crude energy (measured in the faeces) were significantly and independently affected by the protein source and the kind of starch : the apparent digestibility was better with gluten than with fish meal diets, and better with maize than with wheat starch diets. The metabolic utilization of nitrogen was only affected by the protein source, i.e. was better with fish meal diets. Thus, the net protein utilization was higher in this case (fish meal diets) without any change, in the metabolic utilization of the digestible energy. On the whole, the nature of the dietary starch only affected the apparent digestibility of the diets. As regards the protein source, the best digestion coefficients but the worst metabolic utilization of nitrogen were recorded for the gluten diets. The poor growth of pigs with such gluten diets was dependent on both this bad metabolic utilization of nitrogen and on a lower intake of these imbalanced diets with a higher energy concentration.

Comparison of these faecal apparent digestibilities with the ileal ones previously reported for the same 4 diets (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981), showed that the

apparent digestibility of nitrogen measured in the faeces was always higher than that measured in ileal digesta. The lower the nitrogen digestibility, the higher the faeces-ileum differences. Moreover comparison of nitrogen digestibilities of two different diets was much more discriminating for ileal than for faecal values (table 6).

Références bibliographiques

- BRAUDE R., LOW A.G., PARTRIDGE I.G., SAMBROOK I.E., 1975. A comparison of apparent digestibility values for nutrients from measurements in the ileum and faeces of growing pigs. *Proc. Nutr. Soc.*, **34**, 46 A - 47 A.
- BURACZEWSKI S., 1980. Aspects of protein digestion and metabolism in monogastric animals, Proc. 3rd E.A.A.P. Symposium on Protein metabolism and Nutrition, Braunschweig may 5th-9th 1980. E.A.A.P., n° 27, I, 179-192.
- DARCY B., LAPLACE J.P., VILLIERS P.A., 1981. Digestion dans l'intestin grêle chez le Porc. 4) Cinétique de passage des digesta et bilans de la digestion au niveau de la jonction iléo-caeco-colique selon la nature de l'amidon et la source de protéines alimentaires. *Ann. Zootech.*, **30**, 31-62.
- HENRY Y., RERAT A., 1966. Utilisation des pommes de terre déshydratées et fraîches dans l'alimentation du Porc en croissance, en comparaison avec l'orge. *Ann. Zootech.*, **15**, 231-251.
- HOLMES J.H.G., BAYLEY H.S., HORNEY F.D., 1973. Digestion and absorption of dry and high-moisture maize diets in the small and large intestine of the pig. *Br. J. Nutr.*, **30**, 401-410.
- HOLMES J.H.G., BAYLEY H.S., LEADBEATER P.A., HORNEY F.D., 1974. Digestion of protein in small and large intestine of the pig. *Br. J. Nutr.*, **32**, 479-489.
- IVAN M., FARRELL D.J., 1976. Nutritional evaluation of wheat. 5) Disappearance of components in digesta of pigs prepared with two re-entrant cannulae. *Anim. Prod.*, **23**, 111-119.
- KOBILINSKY A., 1980. MODLI - Software for the treatment of the linear model on a mini computer ; in : BARRITT M.M., WHISHARD T., *Compstat, Proc. in computational statistics*, chap. V : Analysis of variance and covariance, pp. 167-173, Physica Verlag, Wien.
- LAPLACE J.P., PONS O., CUBER J.C., KABORE C., VILLIERS P.A., 1981. Effets de la nature de l'amidon (blé ou maïs) et des protéines (poisson ou gluten) sur les facteurs de contrôle et le déroulement de l'évacuation gastrique d'un régime semi-purifié chez le Porc. Applications de l'analyse multidimensionnelle et de la régression polynomiale. *Ann. Zootech.*, **30**, sous presse.
- POPPE S., MEIER H., 1977. Assessment of true digestibility of aminoacids and its value in swine. Proc. 2nd Int. Symposium on Protein metabolism and Nutrition. Flevohof. Netherlands. E.A.A.P., n° 22, 79-81, Pudoc, Wageningen.
- RERAT A., 1978. Digestion and absorption of carbohydrates and nitrogenous matters in the hindgut of the omnivorous non-ruminant animal. *J. anim. Sci.*, **46**, 1808-1837.
- WÜNSCHE J., BOCK H.D., HENNIG U., KREIENBRING F., BORGMAN E., 1979. Untersuchungen über die Proteinverdaulichkeit und Aminosäurenresorption in verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes beim Schwein. 2) Die Protein und Aminosäurenbilanz am Ende des Dünndarms und des gesamten Verdauungstraktes (scheinbare und wahre Protein und Aminosäurenverdaulichkeit). *Arch. Tierernähr.*, **29**, 221-234.
- ZEBROWSKA T., 1973. Digestion and absorption of nitrogenous compounds in the large intestine of pigs. *Rocz. Nauk. Roln.*, **95 B**, 85-90.
- ZEBROWSKA T., BURACZEWSKA L., BURACZEWSKI S., 1978. The apparent digestibility of aminoacids in the small intestine and in the whole digestive tract of pigs fed diets containing different sources of protein. *Rocz. Nauk. Roln.*, **99 B**, 87-98.
- ZEBROWSKA T., BURACZEWSKA L., HORACZYNSKI H., 1978. Apparent digestibility of nitrogen and amino-acids and utilization of protein given orally or introduced into the large intestine of pigs. *Rocz. Nauk. Roln.*, **99 B**, 99-105.