

COURBE DE RÉPONSE DES PERFORMANCES DE CROISSANCE DU PORC À L'APPORT DE THRÉONINE DIGESTIBLE VRAIE MESURÉE AU NIVEAU ILÉAL .

B. SÈVE, P. GANIER, Y. HENRY

*Institut National de la Recherche Agronomique
Station de Recherches Porcines, 35590 Saint-Gilles*

avec la collaboration de G. CONSEIL, A. AMET, Y. BÉNARD et J.C. RISSEL pour l'expérimentation sur animaux, Y. LEBRETON et J.P. PRIGENT pour les mesures de digestibilité iléale, R. VILBOUX pour la fabrication des régimes expérimentaux, Yvon COLLÉAUX, Nadine MÉZIÈRE et Sylviane BARRÉ pour les contrôles de laboratoire.

Deux expériences sont réalisées dans le but d'établir une courbe de réponse du gain de poids à l'apport de thréonine digestible chez des porcs Large-White en croissance de 21,5 à 55 kg de poids vif nourris à volonté (expérience 1) ou Piétrain x Large-White de 25 à 50 kg de poids vif nourris suivant un plan d'alimentation libéral (expérience 2). Dans chaque cas, on étudie les effets de l'addition de six doses de L-thréonine industrielle à un régime basal carencé, renfermant 16 % de protéines, et équilibré en autres acides aminés. Dans l'expérience 1, le régime de base renferme du blé, du tourteau de soja, du tourteau d'arachide, des acides aminés industriels et un complément d'acide glutamique et de glutamate; la thréonine industrielle est incorporée en remplacement d'un apport azoté équivalent de glycine; les taux estimés de thréonine digestible vraie varient de 0,35 à 0,60 g/100g. Dans l'expérience 2, le régime de base renferme du blé, du gluten de blé du tourteau d'arachide et des acides aminés industriels; les matières premières font l'objet de mesures d'utilisation digestive au niveau iléal montrant des digestibilités vraies relativement faibles des acides aminés les plus limitants (lysine et thréonine) du tourteau d'arachide et du gluten de blé; les taux de thréonine digestible varient de 0,37 à 0,64 g/100 g. Le sexe (mâles castrés vs femelles) n'influence ni le niveau des performances ni la forme de la réponse à la thréonine ajoutée. Le gain de poids et l'ingéré alimentaire journaliers, mais aussi l'indice de consommation, sont plus élevés dans l'expérience 1 que dans l'expérience 2. Pourtant, la réponse du gain de poids à la thréonine additionnelle reste faible et linéaire dans l'expérience 1, ne permettant pas de définir un optimum. Au contraire, dans l'expérience 2, la réponse des porcs est forte et ajustable à une fonction quadratique, ce qui permet de définir un apport optimal de 8 g d'apport journalier de thréonine digestible vraie correspondant à 1,65 g/Mcal ED et 2,35 g/Mcal EN. La discussion porte sur les rôles respectifs du type génétique et de l'apport d'acides aminés non essentiels dans les différences de réponse observées entre expériences.

Response curve of growth performance to true digestible threonine measured at the ileal level.

Two experiments have been conducted in order to determine the response curves to increasing amounts of digestible threonine in Large-White pigs, 21.5 to 55 kg live weight, fed ad libitum (experiment 1), or in Piétrain x Large-White pigs, 25 to 50 kg live weight fed according to a liberal plane of feeding (experiment 2). Each study involved six supplements of industrial L-threonine added to a deficient diet providing 16 % protein well balanced in other amino acids. In experiment 1, the diet was based on wheat, soybean meal, peanut meal, industrial essential amino acids and a supplement of glutamic acid and glutamate; the additional threonine replaced free glycine on the basis of nitrogen content; the estimated final digestible threonine concentrations ranged from 0.35 to 0.60 g/100g. In experiment 2, the diet was based on wheat, wheat gluten, peanut meal and industrial amino acids; ileal digestible amino acids were measured in these feedstuffs; digestibilities of the limiting amino acids, lysine and threonine, were quite low in peanut meal and wheat gluten; the final digestible threonine concentrations ranged from 0.37 to 0.64 g/100 g. There was no difference neither in the level of growth performance nor in the shape of response to threonine between castrated males and females. Daily weight gain and feed intake, as well as feed conversion ratios, were greater in experiment 1 than in experiment 2. Yet, in experiment 1, the response of weight gain to additional threonine remained low and linear, so that it was not possible to derive an optimal supply. By contrast, in experiment 2, the response to threonine was strong and adjustable to a quadratic function which enabled to define an optimal supply of 8 g of true digestible threonine per day corresponding to 1.65 g/Mcal DE or 2.35 g/Mcal NE. The different responses to threonine between experiments have been discussed in terms of the respective roles of the genotype and of nonessential amino acids intakes.

INTRODUCTION

Dans de nombreuses expériences, les réponses à l'addition de thréonine libre à un régime déficitaire sont chaotiques et sans rapport avec le besoin supposé (ROSELL & ZIMMERMAN, 1985; LEWIS et al, 1986)). On explique généralement cela par l'intervention des autres acides aminés limitants (lysine, méthionine, tryptophane), et les effets dépressifs immédiats d'excès relatifs même modérés de la thréonine elle-même comme de la méthionine (GATEL et FEKETE, 1987; GÜNTHER et BADEWIEN, 1987). Ces difficultés ont pour conséquence une méconnaissance des courbes de réponse des performances à l'addition de thréonine, alors que la bibliographie permet d'établir facilement les courbes de réponse à l'addition de lysine. Par ailleurs, la formulation des besoins en acides aminés digestibles est devenue pratique courante, avec la diffusion de données sur un nombre grandissant de matières premières (RHÔNE-POULENC ANIMAL NUTRITION (RPN), 1989). Dans une optique de modélisation du besoin, la prise en compte de l'acide aminé digestible présente l'avantage de donner une portée plus générale aux courbes de réponse, tenant compte notamment des différences de disponibilité entre l'acide aminé libre et celui lié aux protéines du régime de base.

La présente étude a pour objectif d'établir une courbe de réponse des performances de croissance du porc à l'apport de thréonine digestible sur la base de la digestibilité iléale vraie. Pour cela deux expériences sont réalisées dans lesquelles 6 doses de thréonine libre sont ajoutées à des régimes de base dont l'équilibre des protéines se rapproche autant que possible de celui de la protéine idéale. La deuxième expérience fait l'objet de mesures directes de digestibilité des acides aminés

Tableau 1 - Composition centésimale des régimes de base expérimentaux (g/100g).

Expérience	1	2
Blé	77,50	82,80
Gluten de blé		3,65
Tourteau de soja	4,00	
Tourteau d'arachide	8,00	7,74
Mélasse de betterave	3,00	
Phosphate bicalcique	2,00	1,90
Craie broyée	1,20	1,30
Oligoéléments-vitamines (1)	0,35	0,50
Sel marin		0,30
Glutamate de sodium	1,05	
Acide glutamique-HCl	2,15	
L-lysine-HCl	0,450	0,577
DL-méthionine	0,030	0,035
L-tryptophane	0,020	0,030
L-valine		0,010
L-thréonine	(2)	(3)
Glycine	0,150	
Amidon de maïs	0,100	1,158

(1) Apportant dans les deux expériences par kg d'aliment, 40 mg de fer, 5 mg de cuivre, 16 mg de manganèse, 100 mg de zinc, 6 mg d'iode, 1 mg de cobalt, 0,2 mg de sélénium, 5000 UI de vitamine A, 1000 UI de vitamine D3, 10 UI de vitamine E, 2 mg de vitamine K3, 1 mg de thiamine, 4 mg de riboflavine, 15 mg de niacine, 10 mg de pantothénate de calcium, 1 mg de pyridoxine, 20 mg de vitamine B12, 1 mg d'acide folique, 2 mg de biotine et 500 mg de chlorure de choline.

(2) Substituée à un mélange glycine: amidon (60:40) à raison de 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 g/100 g dans les régimes 2 à 6 respectivement.

(3) Substituée à l'amidon à raison de 0,054; 0,108; 0,162; 0,216; 0,270 g/100 g dans les régimes 2 à 6 respectivement.

afin de tester l'additivité des apports par les différentes matières premières et par la L-thréonine industrielle. Les résultats conduisent à mettre en doute la généralité d'une courbe de réponse, en raison notamment d'interactions avec l'apport d'acides aminés non essentiels.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Expérience 1.

Cent-vingt porcs de race Large-White, d'un poids vif initial de $21,5 \pm 1,0$ kg, sont répartis en dix groupes homogènes de chaque sexe (mâles castrés et de femelles) permettant la comparaison de six traitements expérimentaux selon la méthode des blocs complets équilibrés. Ces traitements correspondent à l'addition de six doses de L-thréonine à un régime à base de blé, de tourteau de soja et de tourteau d'arachide (tableau 1) renfermant 0,75 g de lysine digestible /100 g et permettant de réaliser une gamme d'apport de thréonine digestible de 0,35 à 0,60 g/100 g (tableau 2). L'azote de la thréonine ajoutée remplace un apport équivalent sous forme de glycine. Ce régime est supplémenté en

Tableau 2 - Apports nutritifs moyens des régimes expérimentaux.

Expérience	1	2
Matière sèche (1)	87,0	88,0
Énergie digest. (2), Mcal/kg	3,23	3,20
Protéines brutes (1)	15,9	16,4
Acides aminés digestibles (3)		
Thréonine (4)	0,350	0,366
Lysine	0,748	0,766
Méthionine	0,205	0,230
Cystine	0,244	0,218
Mét. + cys.	0,449	0,448
Tryptophane	0,157	0,174
Isoleucine	0,456	0,456
Leucine	0,831	0,789
Valine	0,526	0,515
Phénylalanine	0,585	0,634
Tyrosine	0,409	0,357
Phé + tyr.	0,994	0,991
Histidine	0,283	0,324
Arginine	0,839	0,849
Alanine	0,430	0,401
Sérine	0,606	0,635
Proline	1,075	1,538
Acide aspartique	0,890	0,804
Acide glutamique	5,885	3,550
Glycine (5)	0,673	0,548

(1) Contrôle analytique.

(2) Estimée d'après INRA (1989) et NOBLET et al (1989).

(3) Estimés dans l'expérience 1 d'après MOSSE et al (1985) pour la composition du blé et d'après RHONE-POULENC ANIMAL NUTRITION (1989) pour les compositions des autres matières premières et les données de digestibilité iléale vraie. Calculés dans l'expérience 2 en utilisant les mesures de digestibilité vraies effectuées sur les matières premières et en admettant des digestibilités vraies de 100 % pour les acides aminés libres.

(4) Valeurs des régimes 1. Les valeurs sont respectivement 0,400, 0,450, 0,500, 0,550 et 0,600 g/100 g dans les régimes 2 à 6 de l'expérience 1, et 0,420, 0,474, 0,528, 0,582 et 0,636 g/100 g dans les régimes 2 à 6 de l'expérience 2.

(5) Valeurs du régime 1, pour l'expérience 1. Les valeurs sont 0,643, 0,613, 0,583, 0,553 et 0,523 dans les régimes 2 à 6 respectivement.

L-lysine-HCl, en DL-méthionine et en L-tryptophane afin de couvrir les apports minima recommandés de ces trois acides aminés par unité d'énergie respectant ainsi les proportions considérées comme optimales entre eux (INRA, 1989). L'apport d'azote total est complété par un mélange d'acide glutamique et glutamate de sodium pour obtenir finalement 16 % de matières azotées totales. Les porcs sont élevés sur paille en loge individuelle, disposent à volonté de l'eau (abreuvoir automatique) et de l'aliment sous forme de granulés de 4 mm de diamètre. Lorsque le poids final de $55,1 \pm 2,1$ kg est atteint, leur état d'engraissement est apprécié par des mesures d'épaisseur de lard aux ultra-sons au niveau du rein du dos et du cou.

1. 2. Expérience 2.

Soixante porcs croisés Piétrain x Large-White d'un poids vif initial de $24,5 \pm 1,0$ kg sont utilisés. On forme dix triplets de porcelets homogènes issus de la même portée par sexe (mâles castrés et femelles). Six traitements expérimentaux sont comparés selon la méthode des blocs incomplets équilibrés de type 3 (COCHRAN et COX, 1957). Chaque triplet permet d'effectuer une comparaison de trois traitements parmi les six telle qu'avec dix triplets, et donc pour chaque sexe, on obtienne cinq répétitions de chaque traitement. Ces traitements correspondent à l'addition de six doses de L-thréonine à un régime à base de blé, de gluten de blé et de tourteau d'arachide (tableau 1) renfermant 0,77 g de lysine digestible/100 g et permettant de réaliser une gamme d'apports de thréonine digestible de 0,37 à 0,64 g/100 g (tableau 2). La thréonine est simplement substituée à de l'amidon de maïs, le léger déficit azoté des régimes moins bien pourvus en thréonine n'est donc pas compensé. Le régime est par ailleurs complété en L-lysine-HCl, en DL-méthionine, en L-tryptophane et en L-valine afin de couvrir les apports minima recommandés de ces quatre acides aminés par unité d'énergie, respectant ainsi les proportions considérées comme optimales entre eux (INRA,

1989). Sans apport supplémentaire d'azote non essentiel, ce régime renferme finalement environ 16 % de matières azotées totales. Les porcs sont élevés sur paille en loges individuelles et disposent d'eau à volonté. Afin de limiter la variabilité individuelle, ils reçoivent l'aliment sous forme de granulés de 4 mm de diamètre selon un plan d'alimentation fixé à 0,35 Mcal/kg^{0,75}, soit un niveau proche de l'ingestion à volonté (SEVE et al, 1985). Lorsque le poids final de $50,7 \pm 1,8$ kg est atteint, ils sont abattus aux fins d'analyse corporelle (résultats non rapportés).

Des mesures de digestibilité iléale des acides aminés sont effectuées sur quatre régimes en carré latin selon les modalités décrites précédemment (MARISCAL-LANDIN et al, 1990). Le premier régime est à base de blé (93,25 %). Le second est à base de blé (46,6 %) et de tourteau d'arachide (9,8 %), le troisième est à base de blé (46,9 %) et de gluten de blé (6,2 %), le quatrième correspond au régime 4 de l'expérience 2. La digestibilité apparente est convertie en digestibilité vraie selon la formule suivante : $CUDv = CUDa + 100 \cdot (AAE/AAI)$, AAE étant la quantité d'acide aminé endogène par kg de matière sèche ingérée déterminée précédemment et AAI étant la teneur en acide aminé de l'aliment exprimée également en g par kg de matière sèche. Puis les digestibilités vraies des acides aminés de chacune des matières premières sont calculées par différence. L'application de ces résultats au régime 4 permet de vérifier la disponibilité des acides aminés ajoutés sous forme libre et de tester l'hypothèse d'additivité des fractions digestibles pour les autres.

Toutes les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel SAS (1988).

2. RÉSULTATS

2.1. Expérience 1.

Tableau 3 - Résultats de l'expérience 1 (1).

	Régimes	1	2	3	4	5	6	Écart -type
	Thrénine digest., g/100g	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	
Femelles	Ingéré, g/j (2)	1 820	1 830	1 840	1 850	1 870	1 910	36
	Gain, g/j (3)	671	679	708	700	723	722	16,7
	Indice de consommation (4)	2,72	2,73	2,61	2,65	2,59	2,64	0,051
	Épaisseurs de lard, mm cou (5)	17,8	17,8	16,7	17,8	18,9	18,6	0,97
	dos (6)	9,7	10,0	9,1	10,5	10,1	9,2	0,45
	rein	13,1	13,9	13,6	14,2	14,3	13,6	0,72
Mâles castrés	Ingéré, g/j (2)	1 890	2 040	1 880	1 860	1 900	1 920	54
	Gain, g/j (3)	665	701	651	680	686	706	29,6
	Indice de consommation (4)	2,91	2,91	2,94	2,78	2,79	2,75	0,092
	Épaisseurs de lard, mm cou (5)	19,0	20,4	21,2	19,6	18,8	17,7	0,97
	dos (6)	10,2	10,6	10,7	10,6	10,3	10,3	0,48
	rein	14,9	15,2	13,3	14,9	14,2	14,7	0,90
Ensemble	Ingéré, g/j (2)	1 850	1 930	1 880	1 850	1 880	1 910	32
	Gain, g/j (3)	668	690	691	690	705	714	16,9
	Indice de consommation (4)	2,81	2,82	2,74	2,71	2,69	2,70	0,052
	Épaisseurs de lard, mm cou	18,4	19,1	19,1	18,7	18,9	18,2	0,69
	dos (6)	9,9	10,3	10,0	10,5	10,2	9,7	0,33
	rein	14,0	14,6	13,6	14,5	14,3	14,2	0,57

(1) Poids vif moyen initial: $21,5 \pm 1,0$ kg; final: $55,2 \pm 2,1$ kg. (2) Effet linéaire de la thréonine, femelles, $P = 0,060$

(3) Effet linéaire de la thréonine, femelles, $P = 0,009$; mâles, $P > 0,100$; ensemble, $P = 0,047$.

(4) Effet du sexe, $P = 0,09$. Effet linéaire de la thréonine, femelles, $P = 0,089$; mâles, $P = 0,100$; ensemble, $P = 0,022$

(5) Effet du sexe, $P = 0,053$. Effet quadratique de la thréonine, mâles castrés, $P = 0,040$. (6) Effet du sexe, $P = 0,086$.

Les deux sexes ne diffèrent significativement ni par leur vitesse de croissance ($P = 0,19$) ni par leur réponse à la thréonine (interaction $P = 0,69$). Sexes confondus, la réponse de la vitesse de croissance à l'addition de thréonine est très modérée et linéaire ($P < 0,05$), si bien qu'il est impossible de conclure en termes d'apport optimal pour la croissance (tableau 3). Les fluctuations de réponses, notamment au niveau 0,44 % s'expliquent par des variations d'ingéré. Ainsi en est-il chez les mâles de ce groupe qui ont ingéré en moyenne 7,5 % de plus que les autres non différents entre eux. Chez les femelles l'augmentation de vitesse de croissance est parallèle à celle également très modérée de l'ingéré ($P < 0,10$). Les mâles castrés consomment plus d'aliment ($P < 0,05$) et présentent un indice de consommation plus élevé, témoin d'une efficacité alimentaire

plus faible ($P < 0,01$) que chez les femelles. Toutefois, les réponses de ce dernier critère à la thréonine ne diffèrent pas entre les deux sexes, (interaction, $P = 0,79$), la réponse moyenne étant linéaire ($P < 0,05$). L'optimum ne peut être assuré statistiquement (effet quadratique non significatif), mais un taux intermédiaire entre 0,45 et 0,50 g de thréonine digestible pour 100g d'aliment serait un bon compromis. Les mesures d'épaisseur de lard font apparaître les différences attendues entre les deux sexes. L'apport de thréonine est sans effet sauf chez les mâles au niveau du cou où la mesure passe par un maximum de 21,2 mm à 0,49% pour s'abaisser régulièrement jusqu'à 17,7 mm à 0,64 % (effet quadratique, $P < 0,05$).

2.2. Expérience 2.

Tableau 4 - Détermination de la digestibilité iléale vraie (1) des acides aminés dans des régimes simplifiés et calcul de digestibilité des matières premières de l'expérience 2 par différence.

Régimes (contenu, g/100 g)	1	2	3	4 (2)	Écart type moyen	Matières premières et régime 4 (données calculées)			
						Tourteau d' Arachide	Gluten de blé	Régime 4 (2)	Acide aminé libre (3)
Blé	93,25	46,6	46,9	81,31					
T. d'arachide	0	9,8		7,6					
Gluten de blé	0		6,2	3,59					
Azote	80,3b	76,7a	81,6bc	83,5c	1,13	71,6	71,6	83,1	
Thréonine	87,0b	82,1a	85,1ab	90,3c	1,20	76,1	82,8	88,3	107,2
Lysine	79,2b	72,5a	74,9a	89,6c	1,13	62,2	66,5	87,5	104,4
Méthionine	85,7b	82,6a	86,8b	87,4b	0,80	72,9	88,1	86,3	109,4
Cystine	91,3b	88,3a	93,4c	89,4a	0,66	77,2	96,0	90,9	
Tryptophane	90,6b	86,5a	88,6ab	89,2b	0,82	79,5	86,3	89,6	98,9
Isoleucine	88,1b	86,8a	89,8c	88,8b	0,31	84,1	91,6	88,0	
Leucine	82,5a	81,8a	85,2b	86,1b	0,38	80,2	88,0	83,1	
Valine	84,0a	84,3a	86,9c	85,0ab	0,49	83,1	90,6	85,3	93,1
Phénylalanine	90,6a	90,3a	92,7b	91,9b	0,32	89,5	94,7	91,2	
Tyrosine	87,3a	86,9a	88,6b	88,9b	0,27	86,5	89,6	87,6	
Arginine	87,8a	90,1b	88,4ab	91,0c	0,25	91,2	89,3	89,4	
Histidine	88,5b	85,7a	89,1b	89,1b	0,59	81,0	90,0	87,3	
Alanine	79,5ab	77,4a	78,6ab	80,5b	1,06	73,7	77,3	77,9	
Sérine	90,6b	85,5a	91,9c	90,3b	0,57	79,5	93,4	88,6	
Proline	102,1	100,6	101,1	100,5	1,03	94,3	100,5	101,0	
A. aspartique	84,5ab	86,3b	81,7a	83,7ab	0,25	85,8	76,5	84,5	
A. glutamique	95,5b	93,0a	96,7c	95,2b	0,68	88,3	97,9	94,9	
Glycine	90,9c	83,2a	92,5c	86,2b	0,59	75,5	94,9	86,9	

(1) Pour ce calcul, on a utilisé l'azote ou les acides aminés d'origine endogène estimés par kg de matière sèche ingérée selon MARISCAL-LANDIN et al (1990). Les moyennes affectées d'au moins une lettre commune ne diffèrent pas entre elles ($P < 0,10$).

(2) Le régime 4 testé en digestibilité est celui de l'expérience 2 dilué par le mélange minéral et vitaminique complémentaire distribué aux porcs anastomosés. Sa digestibilité vraie est calculée à partir de celles mesurées sur les matières premières, en admettant une digestibilité vraie de 100 % pour les acides aminés libres.

(3) Digestibilité des acides aminés libres calculée par différence en utilisant les valeurs obtenues pour les matières premières et la valeur observée du régime 4.

Les résultats de digestibilité iléale de l'azote et des acides aminés sont rapportés au tableau 4. Les valeurs du régime 2 et à un moindre degré celles du régime 3 sont en règle générale significativement inférieures à celles du régime 1. Comparativement au blé, le tourteau d'arachide utilisé dans cette expérience présente donc des digestibilités relativement faibles de ses acides aminés. Ceci est sensible au niveau de la lysine, de la thréonine, de la méthionine, de la cystine, du tryptophane, de l'histidine et même d'acides aminés non essentiels tels que l'acide glutamique, la glycine et la sérine. En ce qui concerne le gluten de blé, ce sont surtout les digestibilités de la lysine et à un moindre degré de la thréonine qui sont

inférieures à celles du blé. Dans le cas du régime 4, les digestibilités calculées par la règle d'additivité, en admettant une digestibilité de 100 % pour les acides aminés libres, diffèrent peu des digestibilités observées. On notera cependant que le calcul de la digestibilité des acides aminés libres par différence donne des valeurs supérieures à 100 pour la lysine, la thréonine, et la méthionine. Ceci indiquerait un effet favorable de l'association des trois matières premières sur la digestibilité de leurs acides aminés limitants. Peut-être est-ce lié au fait que les deux matières premières les moins digestibles, tourteau d'arachide et gluten de blé, sont utilisées en moindre quantité dans le régime 4 que dans les régimes 2 et 3.

Tableau 5 - Résultats de l'expérience 2 (1).

Régimes	1	2	3	4	5	6	Écart-type
Thréonine digest.,g/100g	0,37	0,42	0,47	0,53	0,58	0,64	
Femelles							
Ingéré, g/j (2)	1 496	1 477	1 473	1 498	1 519	1 470	29
Gain, g/j (3)	530	598	603	647	644	615	16,7
Indice de consommation (4)	2,81	2,52	2,46	2,33	2,35	2,39	0,088
Mâles castrés							
Ingéré, g/j (2)	1 477	1 519	1 513	1 531	1 536	1 515	54
Gain, g/j (3)	522	600	637	639	643	630	29,6
Indice de consommation(4)	2,84	2,54	2,38	2,39	2,40	2,42	0,092
Ensemble							
Ingéré, g/j (2)	1 487	1 496	1 493	1 514	1 527	1 492	32
Gain, g/j (3)	526	599	620	643	643	622	16,9
Indice de consommation (4)	2,82	2,53	2,42	2,36	2,37	2,40	0,052

(1) Poids vif moyen initial: 24,5 ± 1,0 kg; final: 50,7 ± 1,8 kg.

(2) Effet triplet (portée) P = 0,012.

(3) Effet triplet (portée) P = 0,051. Effet de la thréonine, femelles, linéaire P = 0,021, quadratique P = 0,065; mâles, linéaire P = 0,003, quadratique P = 0,012; ensemble, linéaire P = 0,0001, quadratique P = 0,001.

(4) Effet de la thréonine, femelles, linéaire P = 0,019, quadratique P = 0,029; mâles, linéaire P = 0,002, quadratique P = 0,011; ensemble, linéaire P = 0,0001, quadratique P = 0,0003.

L'effet du sexe (P = 0,68) et celui de l'interaction sexe x traitement (P = 0,96) sur la vitesse de croissance ne sont pas significatifs (tableau 5). Le gain de poids quotidien augmente linéairement avec l'addition de thréonine (P = 0,0002) puis plafonne à partir de 0,53 g/100 g (effet quadratique, P = 0,0029). L'enregistrement des refus montre que la distribution d'aliment excède d'environ 10 % l'appétit des animaux quel que soit leur sexe. La consommation mesurée n'est influencée ni par le sexe, ni par l'interaction sexe x traitement, ni par la dose de thréonine. L'indice de consommation varie donc exactement en sens inverse de la croissance. Il diminue linéairement jusqu'à 0,53 g de thréonine digestible pour 100 g d'aliment et se stabilise ensuite à une valeur inférieure à 2,4.

3. DISCUSSION

Les mesures de digestibilité vraie effectuées donnent des valeurs faibles pour le tourteau d'arachide utilisé dans l'expérience 2 comparativement à celui ayant servi à fixer le chiffre de la table RPAN (GREEN, 1987). C'est particulièrement le cas pour la lysine, cet acide aminé étant également moins abondant en quantité totale pour 16 g d'azote, soit 100 g de protéines brutes, (2,5 vs 3,4) comparativement aux valeurs des tables (INRA, 1989; RPAN, 1989). Cette double constatation permet de penser à un traitement thermique excessif au cours de la préparation du tourteau. Les autres acides aminés essentiels, dont la thréonine, sont affectés dans une moindre mesure, probablement par l'insolubilisation des protéines. De même, la digestibilité de certains acides aminés du gluten de blé (lysine, acide aspartique, alanine et dans une moindre mesure thréonine) est faible. On note que ce sont les acides aminés présentant déjà une digestibilité relativement plus basse dans le blé lui-même, suggérant l'existence d'une

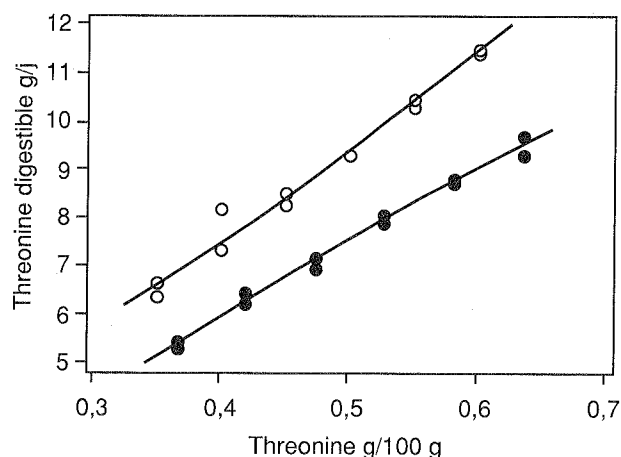
protéine indigestible de composition particulière et appartenant à la fraction retenue lors de la préparation du gluten. Ajoutons, que ce gluten (gluten «vital») n'a pas subi le traitement dénaturant, qui aurait sans doute permis d'améliorer son utilisation digestive, comme chez le veau (TOULLEC et GRONGNET, 1990). Selon les présents résultats, on peut admettre sans grand risque une digestibilité iléale vraie de 100 % pour les acides aminés libres, conformément à l'opinion la plus largement répandue. Les chiffres obtenus, supérieurs à cette valeur, peuvent résulter de la suppression d'une interaction négative lorsque les matières premières de faible digestibilité sont incorporées en quantité moindre dans le régime.

Les niveaux de performances diffèrent assez largement entre les deux expériences. Les différences de niveau d'ingestion alimentaire sont très certainement à l'origine de ce résultat. Compte tenu des refus observés, la consommation enregistrée dans l'expérience 2 correspondrait, comme dans l'expérience 1, au niveau d'ingestion spontanée des animaux. Nous avons évoqué ci-dessus la possibilité d'une intolérance relative à des matières premières peu digestibles laquelle aurait pu affecter l'appétence des régimes. Cette explication est démentie par les résultats obtenus avec le régime 4, convenablement digéré après seulement 4 jours d'adaptation par les porcs de l'essai de digestibilité. Une seconde explication de ce résultat peut être l'addition de glutamate de sodium et d'acide glutamique aux régimes de l'expérience 1 dont la composition est par ailleurs très voisine de celle des régimes de l'expérience 2. Cependant, nous avons montré dans trois expérimentations précédentes (HENRY et al, 1992a, 1992b; Le FLOC'H et al, 1992) qu'une telle addition ne permettait aucune modification de l'appétit ni des performances lorsque le régime était par ailleurs équilibré en acides aminés essentiels. En revanche,

les différences de type génétique, souche Large-White initiale de St-Gilles dans le premier cas, croisés Piétrain x Large-White dans le second cas, peuvent expliquer de telles variations d'appétit. Celles-ci correspondraient à des profils de croissance différents. Les porcs croisés Piétrain x Large-White présenteraient une vitesse de croissance relativement limitée en début d'«engraissement» suivie d'une accélération de croissance pondérale, sous forme de muscles, en finition. Parallèlement à un appétit inférieur, les porcs de l'expérience 2 présentent un indice de consommation minimal nettement plus faible que ceux de l'expérience 1. Le gain de poids supplémentaire des porcs de l'expérience 1 a donc toute chance d'être riche en graisse, dont le dépôt est coûteux en énergie, et la différence de gain de muscle entre les deux expériences est sans doute plus faible que la différence de gain pondéral.

Dans l'expérience 1, on peut déduire, sur la base de l'indice de consommation, notamment chez les femelles, une valeur optimale semblant correspondre à ce que nous savons du besoin (INRA 1989) (0,45 à 0,50 g/100 g de thréonine digestible dans l'aliment soit un peu plus de 60% de la lysine). Toutefois, à ce taux, l'augmentation de vitesse de croissance n'est que de 3,3 % par rapport à celle observée avec le régime de base et une augmentation supplémentaire équivalente est obtenue avec le niveau de thréonine le plus élevé, ainsi que l'indique l'effet linéaire. En définitive, la réponse observée n'étant qu'en «plateau ascendant», on peut se demander si le besoin n'est pas déjà presque complètement couvert avec l'apport basal. A l'inverse, dans l'expérience 2, la réponse est extrêmement nette au premier niveau de supplémentation, puis son amplitude diminue aux niveaux suivants jusqu'à un optimum au-delà duquel elle tend au contraire à diminuer (effet quadratique). Cet optimum correspond à l'apport du régime 4 (0,53 g/100 g soit 68,5 % de l'apport de lysine, valeur plus élevée que celle trouvée par WANG et FULLER (1990) avec des régimes classiques (céréales-soja) et se rapprochant de celle mesurée avec des régimes à base de caséine et d'acides aminés libres (WANG et FULLER, 1989). Cette différence s'explique peut-être par le fait que dans leur travail de 1990, ces auteurs ont estimé l'apport digestible apparent, alors que dans leur premier travail, ils pouvaient admettre que l'apport protéique était digestible à 100 %, valeur vraie. En effet, la digestibilité de la thréonine est plus augmentée que celle de la lysine par la correction d'endogène, car l'excrétion protéique d'origine endogène est nettement plus riche en thréonine qu'en lysine (MARISCAL-LANDIN et al, 1990).

figure 1 - Relation entre la quantité de thréonine digérée par jour et la teneur en thréonine digestible du régime (expérience 1 -○- =, expérience 2 = -●-).



Les valeurs relativement basses du rapport optimal thréonine/lysine exprimé en digestible iléal apparent trouvées par une équipe hollandaise pour des porcs de 20 à 40 kg (0,60 d'après SCHUTTE et al, 1990) ou de 45 à 70 kg (0,59 chez les mâles castrés d'après LENIS et al, 1990) s'expliquent probablement en partie de cette façon.

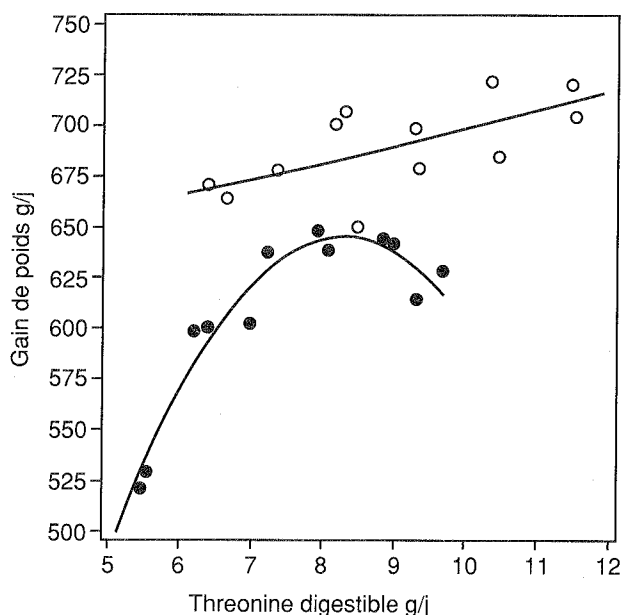
On peut tenter de résoudre la contradiction apparente entre les deux expériences en considérant l'apport journalier de thréonine. La figure 1 permet de visualiser l'équivalence des apports journaliers de thréonine digestible à 0,43 g/100 g dans l'expérience 1 et à 0,53 g/100 g dans l'expérience 2. Les ajustements effectués sur la figure 2 montrent que cet apport, d'environ 8 g/j, donne des gains de poids de 690 et 645 g/j respectivement dans les expériences 1 et 2. Compte tenu de la différence de potentiel génétique, les gains de muscles correspondants ont toute chance d'être équivalents. Les porcs de l'expérience 1, moins limités par leur appétit que ceux de l'expérience 2, ont été capables d'ingérer suffisamment d'acide aminé limitant pour couvrir la quasi-totalité de leur besoin de croissance musculaire avec des régimes apparemment déséquilibrés. Une telle aptitude à compenser un déséquilibre par carence a été rapportée par BOORMAN (1979) chez le poulet et signalée précédemment par l'un d'entre nous chez le porc en croissance (HENRY, 1983). Deux corollaires sont à dégager de cette constatation.

figure 2 - Courbes de réponse du gain de poids journalier (y) à l'apport vrai journalier de thréonine digestible (x).

$$\text{Expérience 1 (} \circ \text{) : } y = 613,9(\pm 28,5) + 8,6(\pm 3,1) \cdot x \quad (r^2 = 0,43).$$

$$\text{Expérience 2 (} \bullet \text{) :}$$

$$y = -350,4(\pm 109,4) + 240,9(\pm 29,9) \cdot x - 14,6(\pm 2,0) \cdot x^2 \quad (r^2 = 0,95).$$



D'abord, les porcs de l'expérience 1 auraient pu couvrir leurs besoins avec un régime moins riche en protéines, qui aurait fourni la même quantité de protéine idéale, et le rapport optimal connu entre la lysine et la thréonine aurait pu être retrouvé. Sur la base d'un apport optimal de 8 g par jour et 0,65 g de thréonine par g de lysine, on aurait pu réduire l'apport protéique brut hors thréonine de 16 à 14,5%. Cette possibilité est déjà bien connue puisque dans un travail ancien sur des porcs Large-White femelles, la vitesse de croissance maximale pouvait être obtenue avec 8,65 g de thréonine totale, soit 8 g de thréonine digestible par jour et un régime à 12 % de protéines brutes entre 20 et 50 kg de poids vif (HENRY et

RÉRAT, 1970). De même, TAYLOR et al (1982) avaient obtenu des performances satisfaisantes avec des régimes à moins de 13 % de protéines chez des porcs Landrace x (Landrace x Large-White) de poids comparable ingérant 8,7 g de thréonine digestible entre 25 et 55 kg de poids vif. Notons que les deux travaux cités auraient conduit à estimer des rapports optima thréonine/lysine relativement faibles correspondant à des apports de lysine couvrant trop largement le besoin, ce qui était sans doute aussi le cas des porcs de 45 à 70 kg de LENIS et al (1990).

Second corollaire: les porcs de l'expérience 1 ont bien toléré l'excès relatif d'acides aminés essentiels par rapport au facteur limitant. Notons cependant que les animaux, et plus spécialement les femelles, ont continué à augmenter leur performances au-delà de 0,45 g de thréonine par 100 g et même au-delà du rapport thréonine/lysine de 0,65. La réponse en «plateau ascendant» pourrait donc signer l'effet favorable du rééquilibrage de l'apport protéique en thréonine relativement aux autres acides aminés. L'enrichissement de la ration protéique en acides aminés non essentiels (acide glutamique et glutamate) a permis dans l'expérience 1, à un taux de protéines identique à celui de l'expérience 2, de minimiser l'excès des acides aminés essentiels non limitants. Peut-être cela a-t-il évité l'effet dépressif que l'on pouvait attendre du déficit de thréonine sur l'ingestion d'aliment. Mais on ne peut expliquer ainsi la différence de réponse avec l'expérience 2 puisque, dans celle-ci, la carence en thréonine ou l'excès relatif d'acides aminés non limitants n'affectaient pas l'ingestion mais plutôt l'efficacité alimentaire.

Selon WANG et FULLER (1989), lorsque les acides aminés indispensables sont équilibrés selon la protéine idéale, le rapport optimum entre les acides aminés essentiels et non essentiels est de 45 : 55 exprimé en azote (E:NE). Les rapports respectifs des expériences 1 et 2 sont 35 : 65 dans l'expérience 1 et 40 : 60 dans l'expérience 2. On est en droit de se demander si le rapport optimal n'est pas modifié lorsqu'on s'éloigne de l'équilibre de la protéine idéale et selon l'acide aminé limitant, la baisse résultante de valeur biologique pouvant dépendre de

l'apport de certains acides aminés non essentiels. En effet, HEGER et FRYDRYCH (1985) font remarquer que lorsque E:NE augmente, il y a nécessairement augmentation de la synthèse de novo d'acides aminés non essentiels à partir des essentiels. Chez le porc, on a pu établir que près de 80% de la thréonine dégradée produit de la glycine (BALLEVRE et al, 1990). Autrement dit, dans l'expérience 2, en admettant que 50 % de la thréonine a été fixée, un apport optimal de 8 g de thréonine a permis de produire environ 2 g de glycine. Or, dans cette expérience, le porc déposait plus de glycine qu'il n'en digérait (9,5 g vs 8,2 g/j). Il existe d'autres précurseurs de la glycine; ainsi, la sérine excédentaire du régime était en mesure de produire 3,2 g de glycine (au plus). Cependant, la compensation systématique du déficit de thréonine par un apport de glycine, effectuée dans l'expérience 1, a pu s'accompagner d'une épargne de thréonine et atténuer les conséquences du déséquilibre sur l'efficacité alimentaire. Par ailleurs, nous avons montré récemment chez des porcs en finition que l'acide glutamique incorporé dans un régime à teneur en protéines réduite pouvait lui aussi entraîner une épargne de thréonine lorsque celle-ci était limitante (LE FLOC'H et al, 1992).

En conclusion, les résultats de l'expérience 2 permettent de proposer pour les porcs de 25 à 50 kg un besoin en thréonine digestible vraie de 8 g/j, soit 1,65 g/Mcal ED et 2,35 g/Mcal EN. L'apport de lysine digestible vraie n'étant pas excessif (2,5 g/Mcal ED soit 3,4g/Mcal EN), le rapport optimal entre la thréonine et la lysine digestible vraie peut être estimé à 0,68. La même expérience permet de proposer une loi relativement précise de réponse du gain de poids à la thréonine digestible ingérée (figure 2). Cependant, l'expérience 1 remet en question la généralité d'une telle loi, moins peut-être en raison des différences entre types génétiques que de l'interaction des acides aminés non essentiels.

REMERCIEMENTS

À Madame EUDAÏMON du laboratoire de la Société Eurolysine à Amiens, pour les dosages d'acides aminés dans l'essai de digestibilité iléale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALLÈVRE O., BUCHAN V., REES W.D., FULLER M.F., GARLICK P.J., 1990. *Am. J. Physiol.* 260 (Endocrin. Metab. 23) E662-E668.
- BOORMAN K.N., 1979. In «Food Intake Regulation in Poultry», pp. 87-126 (K.N. BOORMAN and B.M. FREEMAN, eds), British Poultry Science, Edinburgh.
- COCHRAN W.G., COX G.M., 1957. *Experimental Designs* 2ème éd., J. WILEY and Sons, New-York.
- GATEL F., FÉKÉTÉ J., 1987. *Journées Rech. Porcine en France*, 19, 265-270.
- GREEN S., 1987. *Digestibility Report 8/87*. Rhône-Poulenc Animal Nutrition Laboratories, Commeny, France.
- GÜNTHER K.D., BADEWIEN E., 1987. *Züchtungskunde*, 59, 378-391.
- HEGER J., FRYDRYCH Z., 1987. *Br. J. Nutr.*, 54, 499-508.
- HENRY Y., 1983. In «Métabolisme et Nutrition azotés», vol.2 pp.407-410 (R. PION, M. ARNAL, D. BONIN, eds). Les Colloques de l'INRA, n° 16 (EAAP Publ., n° 31), INRA, Paris.
- HENRY Y., RÉRAT A., 1970. *Journées Rech. Porcine en France*, 2, 73-78.
- HENRY Y., COLLEAUX Y., SÈVE B., 1992a. *J. Anim. Sci.*, 70, 188-195.
- HENRY Y., SÈVE B., COLLEAUX Y., GANIER P., SALIGAUT C., JEGO P., 1992b. *J. Anim. Sci.*, 70, 1873-1887.
- INRA, 1989. In : "L'Alimentation des Animaux Monogastriques: Porc, Lapin, Volailles." 2ème éd., INRA, Paris.
- LE FLOC'H N., SÈVE B., HENRY Y., 1992. *Proc. Nutr. Soc.*, sous presse.
- LENIS N.P., VAN DIEPEN J.T.H., 1990. *Neth. J. Agric. Sci.*, 38, 609-622.
- LEWIS A.J., PEO E.R. Jr, 1986. *J. Anim. Sci.*, 62, 1617-1623.
- MARISCAL-LANDIN G., LEBRETON Y., SÈVE B., 1990. *Journées Rech. Porcine en France*, 22, 215-222.
- MOSSE J., HUET J.C., BAUDET J., 1985. *J. Cer. Chem.* 3, 115-130.
- NOBLET J., FORTUNE H., DUBOIS S., HENRY Y., 1989. *Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc*. INRA, Paris, 106p.
- ROSELL V.L., ZIMMERMAN D.R., 1985. *J. Anim. Sci.*, 60, 480-486.
- RHONE-POULENC ANIMAL NUTRITION, 1989. *Nutrition Guide*. Rhône-Poulenc Nutrition Animale, Commeny, France.
- SAS, 1988. *User's Guide: Statistics*. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- SCHUTTE J.B., BOSCH M. W., LENIS N.P., DE JONG J., VAN DIEPEN J.T.H., 1990. *Neth. J. Agric. Sci.*, 38, 597-607.
- SÈVE B., PEREZ J.M., DESMOULIN B. 1985. *Journées Rech. Porcine en France*, 17, 419-432.
- TAYLOR A.J., COLE D.J.A., LEWIS D., 1982. *Anim. Prod.*, 34, 1-8.
- TOULLEC R., GRONGNET J.F., 1990. *INRA Prod. Anim.*, 3, 201-203.
- WANG T.C., FULLER M.F., 1989. *Br. J. Nutr.*, 62, 77-89.
- WANG T.C., FULLER M.F., 1990. *Anim. Prod.*, 50, 155-164.