

RENDEMENT D'UTILISATION DES ACIDES AMINÉS DIGESTIBLES POUR LE DÉPÔT PROTÉIQUE CHEZ LE PORC EN CROISSANCE :

Influence de la supplémentation en L-thrénine d'un régime déficitaire

B. SÈVE, M. L. SAWADOGO, P. GANIER, Y. COLLÉAUX

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

*Avec la collaboration technique de G. CONSEIL, A. AMET, Y. BÉNARD, J. C. RISSEL à l'élevage,
R. VILBOUX à l'atelier de mélanges alimentaires, M. ALIX, P. SUREL et L. JAFFRENOU à l'abattoir*

Les rendements d'utilisation des acides aminés digestibles vrais ont été mesurés au moyen de bilans corporels, dans une expérimentation visant à déterminer le taux optimal de thrénine digestible, en étudiant cinq niveaux de supplémentation en L-thrénine libre d'un régime de base blé-gluten de blé-tourteau d'arachide respectivement à 0,42 % et 0,79 % de thrénine et de lysine digestible vraies. La rétention corporelle journalière d'azote et de la plupart des acides aminés suit une loi curvilinéaire en fonction du taux de thrénine digestible de la ration. Une réponse maximale est obtenue pour 0,58 % de thrénine digestible, l'apport optimal étant compris entre 0,53 et 0,58 %, soit 0,66 à 0,73 g/g de lysine digestible. Les rendements nets d'utilisation des acides aminés autres que la thrénine suivent le même type de loi curvilinéaire que la rétention journalière en fonction du taux de thrénine digestible de la ration. Le rendement d'utilisation nette de la thrénine, pour la croissance et l'entretien, décroît quasi-linéairement à partir d'une valeur maximale de 53,1 % à 46,8 % au niveau de la performance maximale. Dans le même intervalle, le rendement d'utilisation de la thrénine au dessus de l'entretien varie de 61,0 à 51,7%.

Net efficiency of digestible amino acids for protein deposition in the growing pig: Effect of the addition of free L-threonine to a threonine deficient diet

The efficiency of amino acids for protein deposition was estimated from measurements of whole-body amino acid retention, in an experiment designed to assess the optimal level of dietary digestible threonine, through a study of the addition of five levels of free L-threonine to a basal wheat-wheat gluten-peanut meal diet providing 0.42 and 0.79 % true digestible threonine and lysine, respectively. For nitrogen and most amino acids the response of daily retention to digestible threonine was curvilinear. Maximal performance was obtained at 0.58 % digestible threonine in the diet, and the optimal supply was estimated between 0.53 and 0.58 % i. e. 6.6 to 7.3 g/g digestible lysine. Net efficiencies of amino acids other than threonine followed the same curvilinear pattern of response as daily retention rates. The net efficiency of digestible threonine decreased almost linearly, according to the level of digestible threonine in the diet, from a maximal value of 53.1 % to 46.8 % at maximal performance. Within the same range of supply, the efficiency of digestible threonine for deposition above maintenance would decrease from 61.0 to 51.7%.

INTRODUCTION

L'estimation des besoins en acides aminés digestibles par la méthode factorielle pour un niveau de performance donné met en jeu le rendement d'utilisation métabolique mesurable lorsque l'acide aminé est limitant. Toutefois, ce critère et cette méthode ne sont fiables que dans l'hypothèse d'une réponse linéaire du dépôt protéique à l'apport d'acides aminés, permettant d'attribuer une valeur constante au rendement d'utilisation. En ce qui concerne la lysine, un certain nombre de données récentes (NOBLET et al, 1987; BATTERHAM et al, 1990, BIKKER 1994, DOURMAD et al, 1995) permettent de penser que le rendement d'utilisation nette (RUN = lysine déposée/lysine digestible) pour un niveau de croissance proche du maximum est relativement constant et proche de 0,70. Cependant, des désaccords apparaissent lorsqu'il s'agit d'évaluer le rendement d'utilisation marginale (RM). Dans l'hypothèse de linéarité de la réponse, $RM = \text{lysine déposée} / (\text{lysine digestible totale} - \text{lysine digestible pour l'entretien})$, ou, s'il y a curvilinéarité, $RM = \text{dérivée de la courbe de réponse}$. La valeur de RM varie selon le niveau du besoin d'entretien, s'il y a ajustement linéaire, mais elle est également sensible aux conditions d'apport de l'acide aminé limitant (SÈVE, 1994), la réponse du dépôt protéique étant alors plus ou moins curvilinéaire (BATTERHAM et al, 1990; FULLER et GARTHWAITE, 1993). En dehors de paramètres complètement spécifiques de la source de protéines (facteurs antinutritionnels, traitements technologiques), trois facteurs sont susceptibles de jouer un rôle (SÈVE, 1994): Le premier est bien sûr l'optimisation du rapport acide aminé limitant/énergie selon le niveau de rationnement, dont l'incidence se limite probablement aux porcs les plus gras, par exemple les mâles castrés de race Large-White en finition. Les deux facteurs suivants apparaissent lors de la formulation de l'aliment, plutôt lorsque d'autres acides aminés que la lysine sont limitants (HENRY et al, 1991a), et concernent la composition résultante de la ration en acides aminés. Il s'agit d'abord de l'excès de l'ensemble des acides aminés non limitants apportés ou non en proportion du limitant (SATO et al, 1987; HENRY et al, 1992a et b), par l'incorporation d'une ou plusieurs sources de protéines dans la ration. Il s'agit aussi de l'excès des acides aminés non limitants avant supplémentation en acide aminé limitant sous forme libre. Nous examinons ici le cas de l'addition de L-thréonine à une formule de base déficitaire en cet acide aminé, après avoir montré antérieurement la curvilinéarité de la réponse du gain de poids à cette supplémentation (SÈVE et al, 1993).

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Aliments, animaux et constitution des échantillons corporels

Les conditions de l'expérience et le dispositif expérimental ont été décrits précédemment (SÈVE et al, 1993). En bref, cinq niveaux de supplémentation en thréonine sont appliqués à une formule de base blé-gluten de blé-tourteau d'arachide supplémentée en L-lysine-HCl, DL-méthionine et L-tryptophane. Avant le démarrage de l'expérience, douze porcelets témoins, mâles et femelles en nombres égaux, appartenant aux mêmes portées que les animaux expérimentaux, sont abattus au poids moyen de $24,5 \pm 1,0$ kg. Les porcs recevant à volonté les six aliments expérimentaux, formules basale et supplémentées, sont abattus au poids final moyen de $50,7 \pm 1,8$ kg, à jeun depuis la veille. Dans chaque cas, le sang

est intégralement collecté, puis la carcasse est éviscérée. L'estomac, les intestins et la vessie sont prélevés et vidés. Ils constituent un premier compartiment A avec le sang, les viscères (coeur, ensemble poumon + trachée, appareil génital, foie, reins, pancréas, rate et reins), la tête, la queue et les pieds. Un deuxième compartiment B est constitué de la carcasse sans tête et sans pieds, la demi-carcasse gauche seule étant conservée. Les pesées des différents organes ou morceaux permettent de reconstituer le poids de chaque compartiment, leur somme donnant le poids vide de l'animal entier. Chaque compartiment est congelé, conservé à -20°C puis broyé, homogénéisé et sa teneur en matière sèche est déterminée par dessiccation d'une partie aliquote à l'étuve à 100°C . Une autre fraction aliquote est lyophilisée et, après contrôle de la teneur en matière sèche des deux lyophilisats A et B, un échantillon corporel représentatif est constitué.

1.2. Analyses de laboratoire

Les dosages sont effectués sur les aliments et les échantillons corporels par les mêmes méthodes. Pour l'azote, on utilise la méthode de Kjeldahl. Pour les dosages d'acides aminés l'hydrolyse est effectuée en tubes de 25 ml fermés (système Rodaviss), sur 20 mg d'échantillon broyé finement (broyeur à billes Dangoumeau) en présence de 15 mL d'HCl, 6N et d'un standard interne (AGPA) à 110°C pendant 24 ou 48 h. Dans le cas des acides aminés soufrés, l'hydrolyse dure 18 h, elle est effectuée sans transfert d'échantillon après oxydation performique (16 h à 4°C) et évaporation. Après évaporation de l'acide sur une partie aliquote (1 mL) et reprise dans un tampon citrate acide (pH 2,2), les acides aminés, acide cystéique et méthionine sulfone, dans le cas des acides aminés soufrés, sont séparés par chromatographie liquide (analyseur Biotronik).

2. RÉSULTATS

2.1. Composition en acides aminés des aliments

Le dosage des acides aminés effectué par la méthode ci-dessus donne dans les aliments des résultats 5 % plus élevés pour la lysine et la thréonine que par la technique classique d'hydrolyse en ballon sous reflux (0,25 g dans 250 mL d'HCl, 6N), effectuée dans notre laboratoire. Toutefois le taux de thréonine diffère assez nettement (15 %) de celui publié précédemment (SEVE et al, 1993) d'après le dosage d'un autre laboratoire en charge de l'analyse des digesta iléaux destinée à l'estimation de la digestibilité des acides aminés. Pour les acides aminés ramifiés le temps d'hydrolyse de 48 h en tubes fermés donne des résultats en moyenne 11 % plus élevés qu'en ballon, et 25 % plus élevés que les données publiées précédemment, obtenues sur l'hydrolysats de 24 h. Malgré ces écarts, la répétabilité des dosages effectués sur les six aliments de même composition, hormis la thréonine, par la technique ci-dessus est satisfaisante (tableau 1).

2.2. Composition corporelle des porcs en acides aminés

Les résultats de dosage d'acides aminés dans les échantillons corporels donnent des profils de composition des protéines corporelles très proches chez les porcs témoins et expérimentaux (tableau 2). Il en est de même selon le sexe (données non détaillées) et le régime. On ne montre aucun effet significatif de l'addition de L-thréonine sur la teneur en lysine, en thréonine ou en d'autres acides aminés des protéi-

Tableau 1 - Composition en acides aminés des régimes expérimentaux (%)

Régimes	1	2	3	4	5	6	Moyennes	Écart-type
Lys	0,908	0,908	0,901	0,931	0,889	0,884	0,903	0,017
Thr	0,456	0,515	0,591	0,635	0,713	0,750	0,475(1)	0,015
Met	0,260	0,262	0,294	0,257	0,267	0,262	0,267	0,014
Cys	0,288	0,295	0,304	0,299	0,299	0,293	0,296	0,006
Met+Cys	0,548	0,557	0,599	0,556	0,565	0,555	0,563	0,018
Ile	0,645	0,636	0,630	0,651	0,629	0,590	0,630	0,021
Leu	1,163	1,149	1,148	1,196	1,131	1,171	1,160	0,023
Val	0,720	0,759	0,750	0,782	0,750	0,731	0,749	0,022
Tyr	0,415	0,487	0,470	0,459	0,478	0,477	0,464	0,026
Phe	0,804	0,810	0,802	0,845	0,813	0,810	0,814	0,016
Tyr+Phe	1,219	1,297	1,272	1,304	1,291	1,287	1,278	0,031
His	0,369	0,359	0,360	0,379	0,360	0,363	0,365	0,007
Arg	0,970	0,992	0,980	1,022	0,987	0,983	0,989	0,018
Asp	1,047	1,031	1,036	1,084	1,034	1,037	1,045	0,020
Ser	0,800	0,788	0,806	0,823	0,800	0,808	0,804	0,012
Glu	4,436	4,402	4,306	4,475	4,538	4,471	4,438	0,079
Gly	0,726	0,712	0,718	0,750	0,722	0,722	0,725	0,013
Ala	0,589	0,579	0,585	0,614	0,587	0,588	0,590	0,012
Pro	1,440	1,410	1,453	1,464	1,439	1,441	1,441	0,018

(1) Moyenne déduction faite de la supplémentation en L-thrénine libre.

Tableau 2 - Influence de la teneur en thrénine digestible de la ration sur la composition en acides aminés des protéines du corps entier ou du gain de poids entre 25 (porcs témoins initiaux) et 50 (porcs expérimentaux) Kg de poids vif (valeurs en g/16g d'azote).

Régimes	1	2	3	4	5	6	Moyennes E.T.R groupes expérim.	(1)	Moyennes témoins initiaux	Écart- Type	Moyennes E.T.R composition (1) du gain	
Thrénine digest, %	0,419	0,473	0,527	0,581	0,635	0,689						
Lys	7,45	7,49	7,32	7,38	7,47	7,32	7,41	0,29	7,42	0,26	7,43	0,68
Thr	4,24	4,14	4,18	4,09	4,06	4,08	4,13	0,17	4,15	0,16	3,99	0,34
Met	2,24	2,23	2,23	2,17	2,25	2,16	2,22	0,17	2,15	0,10	2,18	0,34
Cys	1,04	1,08	1,07	1,04	1,05	1,05	1,06	0,05	1,04	0,06	1,02	0,10
Met+Cys	3,21	3,25	3,23	3,16	3,25	3,16	3,21	0,19	3,19	0,16	3,11	0,40
Ile	4,39	4,34	4,23	4,32	4,35	4,39	4,34	0,30	4,20	0,23	4,31	0,59
Le	7,96	8,12	7,63	7,90	7,95	7,99	7,92	0,52	8,06	0,31	7,86	1,02
Val	5,56	5,54	5,35	5,23	5,47	5,35	5,42	0,30	5,51	0,25	5,41	0,60
Phe	3,98	3,95	4,01	4,04	3,87	3,94	3,97	0,16	4,11	0,16	3,79	0,32
Tyr	2,89	2,86	2,84	2,87	2,82	2,94	2,87	0,20	2,91	0,20	2,81	0,39
Phe+Tyr	6,86	6,79	6,86	6,92	6,66	6,96	6,84	0,32	7,02	0,34	6,30	0,62
His	3,16	3,20	3,09	3,16	3,20	3,16	3,16	0,13	3,15	0,23	3,10	0,31
Arg	6,67	6,79	6,72	6,83	6,40	6,49	6,65	0,51	7,03	0,28	6,41	1,01
Asp	8,90	8,62	8,77	8,89	8,67	8,55	8,73	0,34	8,90	0,30	8,56	0,67
Glu	14,65	14,50	14,39	14,74	14,34	14,05	14,45	0,65	14,44	0,46	14,48	1,28
Gly	8,77	8,81	8,75	8,72	8,33	8,64	8,67	0,38	8,53	0,40	8,69	0,80
Ala	6,94	6,86	6,93	6,75	6,75	6,70	6,82	0,29	6,92	0,24	6,63	0,56
Ser	4,47	4,37	4,35	4,43	4,33	4,24	4,36	0,21	4,27	0,12	4,16	0,38
Pro	7,12	6,76	6,91	6,92	6,57	7,16	6,91	0,67	8,33	1,16	-	-

(1) E.T.R. : Écart-type Résiduel - Les différences entre régimes ne sont pas significatives ($P > 0.10$)

nes corporelles. En conséquence, la composition en acides aminés du gain de poids ne se distingue pas de celle de l'animal entier et n'est pas non plus influencée par les facteurs étudiés.

2.3. Réponse des dépôts de protéines et d'acides aminés à la thrénine digestible

Les calculs du gain journalier en protéines ou en acides

aminés sont présentés au tableau 3. Comme le gain de poids, les gains de protéines, de lysine, de thréonine et de la plupart des acides aminés, sauf les ramifiés et la proline, sont influencés linéairement et quadratiquement par l'addition de L-thréonine à la ration, la réponse maximale étant observée pour le régime 4 apportant 0,58 % de thréonine digestible. Les mêmes résultats pour le gain d'azote, de lysine et de thréonine sont présentés sur la figure 1, où leur variation est

montrée pour les groupes femelles et mâles castrés en fonction de la quantité de thréonine digestible ingérée. Dans les deux cas, la réponse de la performance est bien décrite par une équation du second degré dont le terme quadratique est hautement significatif. Il n'est jamais possible d'ajuster les données à un modèle linéaire-plateau. La rétention protéique et celle de thréonine seraient maximales à 8,8 g d'apport journalier de thréonine digestible.

Tableau 3 - Influence de la teneur en thréonine digestible de la ration sur le dépôt (g/j) des acides aminés corporels du porc entre 25 et 50 Kg de poids vif

Régimes	1	2	3	4	5	6	CVR, % (1)	Signification	
Thréonine digestible, %	0,419	0,473	0,527	0,581	0,635	0,689		statistique (2)	
N	12,70	14,23	15,45	16,49	15,96	15,68	9,48	L**	Q**
Lys	5,92	6,61	6,93	7,76	7,46	7,05	11,27	L**	Q**
Thr	3,31	3,54	3,89	4,03	3,82	3,79	8,99	L**	Q**
Met	1,74	1,96	2,13	2,14	2,24	2,04	17,00	L*	Q*
Cys	0,77	0,94	1,00	1,02	1,01	0,99	12,14	L**	Q**
Met+Cys	2,44	2,82	3,05	3,08	3,17	2,94	14,50	L**	Q*
Ile	3,50	3,86	3,92	4,37	4,33	4,30	16,35	L**	
Le	6,30	7,36	6,92	7,96	7,91	7,75	16,10	L**	
Val	4,53	5,05	5,01	5,18	5,51	5,13	14,41	L*	
Phe	2,99	3,33	3,70	4,01	3,63	3,62	10,21	L**	Q**
Tyr	2,26	2,47	2,63	2,86	2,68	2,86	14,01	L**	
Phe+Tyr	5,00	5,53	6,05	6,57	6,03	6,18	10,99	L**	Q**
His	2,45	2,81	2,81	3,23	3,18	2,91	11,54	L**	Q**
Arg	5,06	5,92	6,26	6,93	5,88	5,97	15,13		Q**
Asp	7,01	7,35	8,27	9,09	8,39	7,96	8,23	L**	Q**
Glu	11,75	12,94	13,78	15,43	14,17	13,29	8,53	L**	Q**
Gly	7,13	7,99	8,55	9,06	7,99	8,10	10,73	L*	Q**
Ala	5,42	6,04	6,55	6,77	6,41	6,07	10,04	L*	Q**
Ser	3,37	3,69	3,94	4,43	4,10	3,80	9,21	L**	Q**
Pro	7,02	7,19	7,94	8,53	7,63	8,60	15,00	L**	

(1) CVR = coefficient de variation résiduelle.

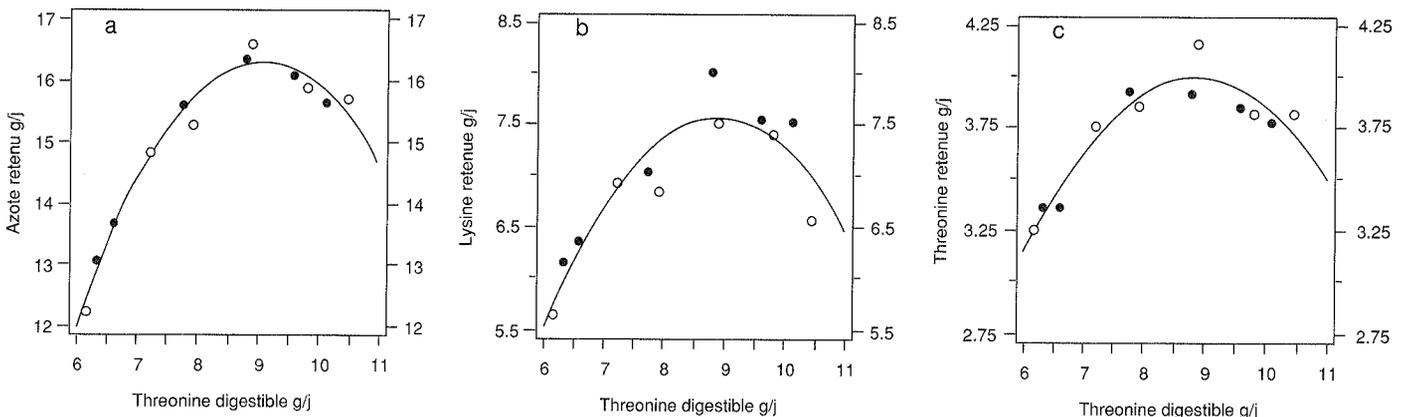
(2) L : effet linéaire; Q : effet quadratique; seuils de signification : * P<0.05; **P<0.01

Figure 1 - Courbes de réponse de la rétention d'azote (a), de lysine (b) et de thréonine (c) (valeurs y en ordonnée) à l'apport journalier de thréonine digestible (valeur x en abscisse) pour les sous-groupes expérimentaux mâles (cercles ouverts) et femelles (cercles fermés). Les équations sont:

$$(a) \quad y = -21,44 + 8,34 x - 0,4605 x^2, \quad R^2 = 0,86$$

$$(b) \quad y = -4,32 + 1,88 x - 0,1064 x^2, \quad R^2 = 0,90$$

$$(c) \quad y = -12,22 + 4,46 x - 0,2510 x^2, \quad R^2 = 0,85$$



2.4 Rendements d'utilisation des protéines et des acides aminés

Le même type de réponse linéaire et quadratique à la supplémentation en L-thrénine est retrouvé pour le RUN des protéines, de la lysine et de la plupart des acides aminés (tableau 4). Seuls les acides aminés ramifiés et la proline échappent à la curvilinearité de la réponse, probablement en raison d'une variabilité plus élevée des données individuelles. Ce n'est pas le cas de la thrénine dont la réponse du RUN à la supplémentation est strictement linéaire. Dans l'hypothèse de linéarité de la réponse des gains absolus et en soustrayant

à l'apport digestible la quantité nécessaire à la couverture du besoin d'entretien (FULLER et al, 1989), on peut estimer un RM pour chaque acide aminé, notamment pour les essentiels (tableau 5). Ces RM diffèrent d'autant plus des RUN que le besoin en acide aminé pour l'entretien est plus élevé, par exemple dans le cas des acides aminés soufrés et de la thrénine. En fait, en présence d'une curvilinearité de la réponse (figure 1), le rendement marginal RM de la thrénine digestible varie comme la dérivée de la courbe de réponse du dépôt. Il décroît linéairement, mais beaucoup plus rapidement, avec l'apport journalier, de 0,60 pour un ingéré de 6 g à 0,39 pour un ingéré de 7 g puis 0,18 pour un ingéré de 8 g.

Tableau 4 - Rendement d'Utilisation Nette (RUN, %) des acides aminés en fonction de l'équilibre en thrénine digestible de la ration du porc entre 25 et 50 kg de poids vif

Régimes	1	2	3	4 (3)	5	6	CVR ¹ %	Signification statistique	
Thrénine digestible %	0,419	0,473	0,527	0,581	0,635	0,689	(1)	(2)	
N	37,7	43,2	45,4	47,3	45,9	46,6	8,57	L**	Q**
Lys	49,9	57,3	58,9	64,5	61,9	59,8	10,20	L**	Q**
Thr	53,1	50,3	49,7	46,8	40,5	38,1	9,71	L**	
Met	50,6	58,4	62,2	61,3	63,8	59,5	16,46	L*	Q*
Cys	19,1	24,0	25,0	25,0	24,7	24,6	12,12	L**	Q**
Met+Cys	32,6	38,8	41,0	40,6	41,6	39,5	14,01	L*	Q*
Ile	42,2	47,4	47,7	52,0	51,3	52,1	15,14	L**	
Leu	43,6	52,0	48,5	54,5	53,8	54,1	14,52	L**	
Val	47,4	54,0	53,0	53,5	56,6	54,1	13,35		
Phe	26,9	30,8	33,6	35,5	32,1	32,8	9,43	L**	Q**
Tyr	37,1	41,8	43,6	46,3	43,4	47,2	13,10	L**	
Phe+Tyr	29,1	33,1	35,5	37,7	34,5	36,2	10,02	L**	Q**
His	51,3	60,6	59,5	66,8	65,5	61,5	10,13	L**	Q**
Arg	38,4	45,9	47,7	51,6	43,6	45,2	14,66		Q**
Asp	53,1	57,3	63,1	67,8	62,5	60,6	7,64	L**	Q**
Glu	18,7	21,1	22,0	24,1	22,1	21,2	8,17	L**	Q**
Gly	75,7	87,2	91,4	94,6	83,5	86,0	10,49		Q**
Ala	78,8	90,3	96,0	96,9	91,8	88,5	9,78	L*	Q**
Ser	31,6	35,6	37,3	41,0	37,8	35,8	9,03	L**	Q**
Pro	32,1	34,2	36,7	38,7	34,5	39,6	14,77	L*	

(1) CVR = coefficient de variation résiduelle.

(2) L : effet linéaire; Q : effet quadratique; seuils de signification : * P<0.05; **P<0.01

(3) En caractère gras, résultats obtenus avec le régime permettant la croissance maximale pour lequel le RUN prend une signification générale si l'acide aminé est colimitant avec la thrénine.

Tableau 5 - Rendement marginal d'utilisation (RM, %) des acides aminés digestibles en fonction de l'équilibre en thrénine digestible de la ration du porc entre 25 et 50 Kg de poids vif

Régimes	1	2	3	4 (3)	5	6	CVR, %	Signification statistique	
Thrénine digestible, %	0,419	0,473	0,527	0,581	0,635	0,689	(1)	(2)	
N	42,6	49,1	51,3	53,3	51,7	52,6	8,64	L**	Q**
Lys	52,3	60,2	61,8	67,5	64,8	62,7	10,20	L**	Q**
Thr	61,0	56,9	55,4	51,7	44,3	41,4	9,83	L**	
Met	52,6	60,8	64,8	63,8	66,4	61,9	16,45	L*	Q*
Met+Cys	36,2	43,2	45,6	45,0	46,2	43,9	14,07	L*	Q*
Ile	43,5	48,9	49,1	53,5	52,8	53,7	15,13	L**	
Leu	44,6	53,3	49,8	55,9	55,1	55,5	14,51	L**	
Val	48,9	55,8	54,8	55,3	58,5	55,9	13,33		
Phe	27,6	31,6	34,4	36,4	32,9	33,6	9,43	L**	Q**
Phe+Tyr	30,1	34,2	36,7	38,9	35,6	37,4	10,02	L**	Q**

(1), (2), (3), voir tableau 4.

3. DISCUSSION

3.1. Composition en acides aminés des protéines corporelles

Les données moyennes sur le profil des acides aminés dans les protéines corporelles de porc, sont résumées au tableau 6 (bilan bibliographique non exhaustif). Les teneurs en acides aminés des protéines corporelles observées dans la présente expérience, la teneur en lysine notamment, sont relativement élevées comparativement aux données publiées, et on peut se demander si le type génétique utilisé (croisement Piétrain x Large-White) n'explique pas cette particularité, comme c'est le cas avec le traitement des porcs à la

somatotropine (KRICK et al, 1993). Malgré la forte dispersion des données, les valeurs moyennes des rapports acides aminés/lysine sont confirmées par les présents résultats. Les valeurs des rapports acides aminés ramifiés/lysine, plus élevées d'environ 7 % que les données moyennes, restent à l'intérieur de l'écart-type. Les distorsions des résultats de dosages d'acides aminés entre laboratoires sont généralement attribuées aux conditions d'hydrolyse (WILLIAMS, 1984). S'agissant d'études nutritionnelles de rendements d'utilisation des acides aminés, il est important que la même méthode ait été appliquée aux aliments et aux échantillons corporels, tout comme la même méthode avait été appliquée aux aliments et aux digesta iléaux pour la détermination de la digestibilité (SÈVE et al, 1993).

Tableau 6 - Comparaison de la composition des protéines du corps entier en acides aminés essentiels à une moyenne de données bibliographiques (AUMAITRE ET DUÉE, 1974 ; BURACEWSKI 1973 ; WÜNSCHE et al, 1973, 1983 ; WIESEMÜLLER et al, 1975 ; OSLAGE et SCHULZ, 1977 ; CAMPBELL et al, 1988 ; BATTERHAM et al, 1990 ; BIKKER, 1994)

Acides Aminés	Bibliographie		Valeurs présentes	
	Moyennes	Écart-type	Moyennes	% de bibliographie
Lysine, g/16 g N	6,79	0,34	7,41	109
	% de lysine		% de lysine	
Thréonine	55,3	3,9	55,9	101
Méthionine	28,8	2,4	29,4	102
Cystine	16,4	4,1	14,2	87
Isoleucine	52,8	4,1	57,6	109
Leucine	102,6	7,2	107,8	105
Valine	69,0	5,8	73,7	107
Phénylalanine	54,9	2,9	54,5	99
Tyrosine	38,3	3,2	39,0	102
Histidine	41,3	4,9	42,5	103
Arginine	94,1	8,1	92,3	98

3.2. Composition des protéines du gain

Comme les données de BATTERHAM et al (1990) l'indiquaient entre 20 et 45 kg de poids vif, on n'observe pas, dans ce travail, de variation significative de la composition en acides aminés des protéines corporelles entre 25 et 50 kg, et donc aucune différence avec la composition des protéines du gain. Les faibles variations montrées par les auteurs précédents (leucine, phénylalanine, arginine) s'expliquaient par une interaction avec le régime. Toutefois, pendant la même période de 20 à 45 kg, BIKKER (1994) montrent des teneurs sensiblement plus élevées de certains acides aminés essentiels, surtout la lysine, dans les protéines du gain que dans les protéines corporelles (lysine 7,07 vs 6,64, thréonine 3,73 vs 3,62, méthionine 2,23 vs 2,11). Là encore, il est difficile de faire la part de l'influence du génotype, de celle du poids initial (20 au lieu de 25 kg) ou des conditions expérimentales. A l'inverse de ce que nous observons dans le cas de la thréonine, il semble que la teneur finale en lysine des protéines, et, par suite, celle des protéines du gain, s'élèvent avec l'apport de

lysine, au moins lorsque celui-ci augmente en proportion de l'apport total de protéines (BATTERHAM et al, 1990 ; BIKKER, 1994 ; CAMPBELL et al, 1988). Notons cependant que dans ces derniers travaux, l'apport de thréonine augmentait aussi en proportion de l'azote total ou de la lysine sans que les teneurs en thréonine de la masse et du gain protéiques corporels ne soient modifiés. Seules les anciennes données de NIELSEN (1973), portant sur la carcasse et non sur le corps entier, étaient obtenues avec une diminution du rapport thréonine/lysine, par suite du remplacement d'orge par un mélange protéique équilibré dans la ration de porcelets alimentés à volonté. Dans ce cas, l'excès relatif de thréonine était d'autant plus important que le taux de protéines de la ration était plus faible et la teneur en thréonine des protéines de la carcasse augmentait parallèlement. Cette augmentation provenait sans doute du pool d'acides aminés libres, ou d'un pool de protéines incomplètement synthétisées, que la période de jeûne imposée avant abattage aura permis de résorber, les animaux étant étudiés à un âge plus avancé (SÈVE, 1994).

3.3. Forme de la courbe de réponse à l'addition d'acide aminé limitant à une ration déficitaire.

La forme de la courbe de réponse de la rétention protéique à l'apport de protéines ou d'acide aminé limitant constitue un problème crucial en modélisation, mais elle est très discutée (SÈVE 1991). Pour l'heure, aucun modèle mathématique simple ne semble en mesure de prédire la rétention à tous les niveaux d'apports, le problème le plus difficile étant posé au voisinage de l'entretien. Lorsqu'on diminue l'apport total de protéine, un changement de facteur limitant peut expliquer la présence d'un point d'inflexion (FULLER et GARTHWAITE, 1993) et peut contribuer à «linéariser» la courbe de réponse. Le travail de BATTERHAM et al (1990) donne peut-être un exemple de cette linéarisation. Il n'est donc pas forcément légitime, comme le fait, BIKKER (1994) de rejeter la possibilité d'une réponse curvilinéaire dans cette zone sauf si on optimise le rapport protéine/énergie et non la supplémentation en acide aminé limitant. Pourtant, dans ce dernier cas, il semble bien que la réponse de la rétention protéique à l'addition de L-Lysine-HCl soit linéaire (DOURMAD et al, 1995). Au contraire, les résultats de la présente expérience montrent que la forme de la courbe de réponse à la supplémentation en L-thréonine libre est curvilinéaire, en accord avec les résultats de SCHEUERMANN et MENKE (1987).

Quelques explications de cette curvilinéarité peuvent être avancées:

- 1 - Plus l'apport d'acide aminé limitant est faible, plus les acides aminés en excès peuvent perturber la réponse de rétention. C'est le cas d'un excès de protéines par rapport au tryptophane, bien qu'il y ait en ce cas confusion entre la réponse au tryptophane et à l'énergie, l'appétit étant limité par la carence (HENRY et al, 1992b). C'est aussi le cas d'un excès de protéines par rapport à la lysine, mais la confusion avec l'effet de l'énergie n'est pas absente puisque, sans réduire significativement l'appétit, l'excès protéique réduit la valeur énergétique nette (HENRY et al 1992a). Par ailleurs, dans ce cas on n'observe pas d'interaction entre l'addition de protéines et l'addition de lysine, ce qui est compatible avec la réponse linéaire évoquée ci-dessus. Dans le cas d'un excès de protéines par rapport à la thréonine, cet effet pourrait être compensé par l'acide glutamique (LE FLOC'H et al, 1994) chez le porc en finition. Toutefois, l'effet favorable de l'acide glutamique est beaucoup moins net en période de croissance (LE FLOC'H, non publié).
- 2 - On peut invoquer une réponse selon la loi des accroissements non proportionnels, par saturation progressive de la capacité de synthèse protéique (GAHL et al, 1991 ; FULLER et GARTHWAITE, 1993), mais certains résultats indiquent qu'avec l'addition du facteur limitant le maximum de rétention protéique est obtenu plutôt par une réduction de la vitesse de dégradation des protéines (SÈVE, 1991).
- 3 - Au delà d'une valeur optimale de supplémentation, l'acide aminé ajouté en excès par rapport au facteur limitant suivant tend à réduire la croissance, ce qui «curvilinéarise» l'ensemble de la réponse. Ceci semble vrai dans le cas présent, bien que l'effet dépressif de la thréonine en excès ne soit pas significatif. Mais, cet effet dépressif pourrait n'apparaître que lorsqu'on enregistre simultanément une réduction de l'appétit (SÈVE, 1994).

3.4. Rendements d'utilisation des acides aminés digestibles.

Le RUN de la thréonine décroît rapidement dans l'intervalle d'apport étudié à partir d'une valeur maximale que l'on peut estimer, d'après la courbe de réponse, à 0,52 pour un apport correspondant à 72 % du besoin. Le rendement est plus faible mais le pourcentage de couverture du besoin est très proche de celui observé chez le Rat (HEGER et FRYDRYCH 1985). Cette décroissance rapide d'efficacité pourrait s'expliquer par un effet primaire de l'apport supplémentaire sur l'oxydation. La thréonine supplémentaire serait donc relativement mal protégée de l'oxydation comparativement à la lysine. Il est difficile de concilier cette interprétation avec l'observation d'une forte accumulation de thréonine dans le plasma, dès que l'apport excède le besoin, indiquant au contraire une déficience du système oxydatif (SÈVE, 1994), sauf si on admet que, la pénétration de la thréonine dans les tissus étant relativement lente, l'oxydation est régulée surtout par la concentration dans le pool plasmatique. Ces résultats ne peuvent que renforcer notre intérêt pour l'étude de la régulation nutritionnelle de l'oxydation de la thréonine (BALLÈVRE et al, 1991 ; LE FLOC'H et al, 1994).

Les rendements d'utilisation des autres acides aminés présentent logiquement le même type de réponse curvilinéaire en fonction du taux de thréonine de la ration que la rétention absolue. Leurs valeurs ne prennent une signification générale qu'avec le régime à 0,581 % de thréonine digestible, permettant les performances maximales, si les apports n'excèdent pas le besoin (acides aminés «colimitants»). On peut considérer qu'il en est ainsi de la lysine, avec un apport digestible vrai (Lys DV) de 3,5 g/Mcal EN, chez les femelles comme chez les mâles castrés (SÈVE 1994). Une comparaison aux valeurs de la bibliographie, obtenues expérimentalement à partir de bilan d'acides aminés, est donc possible :

BATTERHAM et al (1990a) rapportent une valeur maximum de RUN de la lysine digestible apparente (Lys DA) de 0,73 pour un apport de lysine sous-optimal de 0,47 g Lys DA/MJ ED (2,8 g Lys DV/Mcal EN), cette valeur s'abaissant à 0,69 lorsque l'apport atteint la valeur 0,6 g lys DA/MJ ED (3,5 g Lys DV/Mcal EN). Ce dernier chiffre, obtenu avec un régime à base de protéines de soja, est confirmé par les mêmes auteurs dans un essai suivant (BATTERHAM et al, 1990b). Le rendement de la lysine digestible vraie déduit de ces travaux serait au maximum de 0,70, s'abaissant à 0,67 au niveau de l'apport optimal. Parallèlement, ces auteurs mesurent un RM de la lysine beaucoup plus élevé (0,86 pour Lys DA soit 0,825 pour Lys DV) s'expliquant sans doute par un besoin d'entretien plus élevé que l'estimation généralement admise. Les valeurs communiquées plus récemment par BIKKER (1994), sont nettement plus élevées pour le RUN (0,77 pour Lys DA, soit 0,74 pour Lys DV) mais l'auteur trouve un RM très proche du RUN, indiquant un besoin d'entretien quasi-négligeable. Dans l'hypothèse de linéarité, bien vérifiée par ses données, et avec une expression de l'apport en Lys DA, son résultat était prévisible, car le besoin d'entretien s'explique en majeure partie par la perte endogène digestive.

La valeur maximale obtenue dans le présent travail pour le RUN de la lysine (0,645) est à peine plus faible que celles de BATTERHAM et al (1990a et b) au même niveau d'apport. Elle est en bon accord avec celle estimée pour le même type génétique par une autre approche (DOURMAD et al, 1995). La différence avec les données de BIKKER (1994) peut être

liée au type génétique utilisé par cet auteur mais plus sûrement soit à un autre acide aminé limitant secondaire que la lysine, dans le cas des données présentes, soit à la composition particulière des protéines du régime. L'excès important de tous les autres acides aminés essentiels dans le travail de BATTERHAM et al (1990) et l'excès particulier des acides aminés aromatiques, reflété par leur mauvais rendement dans la présente expérience, peuvent avoir modifié aussi bien le métabolisme de croissance que celui d'entretien (SÈVE, 1994).

Avec l'apport de 0,29 g de méthionine digestible par g de lysine, le présent régime de base n'avait pas plus de raison d'être limité par la lysine que par la méthionine (BOURDON et HENRY, 1993). Les valeurs maximales du rendement trouvé pour la méthionine (RUN = 0,62-0,64), qui se distingue bien de la cystine, ne sont d'ailleurs pas spécialement faibles comparativement à celle de la lysine, alors qu'il s'agit d'un acide aminé beaucoup plus facilement oxydé (AGUILAR et al, 1972). Elles sont moins éloignées en définitive de la mesure de 0,70 faite chez des porcelets par CHUNG et BAKER (1992), avec un régime formulé selon la protéine idéale NRC, que notre RUN de lysine ne l'est de celui de BIKKER (1994).

Elles peuvent indiquer qu'il s'agit du facteur limitant suivant.

CONCLUSIONS

Selon les nouvelles données analytiques, l'apport optimal de thréonine digestible dans la ration serait compris entre 0,53 et 0,58 % soit 0,66 à 0,73 g/g de lysine, se rapprochant ainsi de la valeur proposée initialement pour la protéine idéale (WANG et FULLER 1989). Les présents résultats montrent par ailleurs que l'effet d'une supplémentation en L-thréonine ne peut être prédit simplement en appliquant un rendement d'utilisation constant, contrairement à ce qui semble possible, sous certaines réserves, avec la lysine. On peut donc recommander au formulateur de limiter l'application de la méthode factorielle à l'ajustement du rapport de la lysine digestible à l'énergie nette pour le niveau de performances à réaliser en utilisant une valeur de rendement (RUN) de 0,65-0,70 (SÈVE, 1994). En ce qui concerne les acides aminés limitants secondaires, thréonine, méthionine et tryptophane, la curvilinearité des réponses ou la complexité des interrelations entre eux inciterait plutôt à se rapprocher de la protéine idéale en respectant les ratios optimaux à la lysine et les équilibres prioritaires (HENRY 1993).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGUILAR T. S., HARPER A. E., BENEVENGA N. J., 1972. *J. Nutr.* 102, 1199-1208.
- AUMAITRE A.A., DUÉE P. H., 1974. *Ann Zootech.* 23, 231-236.
- BALLÈVRE O., HOULIER M.L., PRUGNAUD J., BAYLE G., BERCOVICI, D., SÈVE B., ARNAL M., 1991. *Am. J. Physiol.*, 261 (Endocrinol. Metab., 24), E748-E757.
- BATTERHAM E. S., ANDERSEN L. M., BAIGENT D. R., WHITE E., 1990a. *Br. J. Nutr.* 81-94.
- BATTERHAM E. S., ANDERSEN L. M., BAIGENT D. R., DARNELL R. E., 1990b. *Br. J. Nutr.*, 64, 663-677.
- BOURDON D., HENRY Y., 1993. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 263-272.
- BIKKER P., 1994. Thèse. Université de Wageningen, Pays-Bas.
- CAMPBELL R. G., TAVERNER M. R., 1988. *Anim. Prod.*, 46, 283-290.
- BURACEWSKI S., 1973. *Proc. 4th Int. Symp. on Amino Acids*, Brno, Tchécoslovaquie.
- CHUNG T. K., BAKER D. H., 1992. *J. Nutr.* 122, 1862-1869.
- DOURMAD J. Y., GUILLOU D., SÈVE B., HENRY Y., 1995. *Journées Rech. Porcine en France*, 27, 253-260.
- FULLER M. F., GARTHWAITE P., 1993. *J. Nutr.* 123, 957-963.
- FULLER M. F., McWILLIAM R., WANG T. C., GILES L. R., 1989. *Br. J. Nutr.*, 62, 255-267.
- GAHL M. K., FINKE M. D., CRENSHAW T. D., BENEVENGA N. J., 1991. *J. Nutr.*, 121, 1720-1729.
- HEGER J., FRYDRYCH Z., 1985. *Br. J. Nutr.*, 54, 499-508.
- HENRY Y., 1993. *INRA Prod. Anim.*, 6, 199-212.
- 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.
- KRICK B., BOYD R., RONEKER K. R., BEERMANN D. H., BAUMAN D. E., ROSS D. A., MEISINGER D. J., 1993. *J. Nutr.* 123, 1913-1922.
- KYRIAZAKIS I., EMMANS G. C., McDANIEL R., 1993. *J. Sci. Food Agric.*, 62, 29-33.
- LE FLOC'H N., SÈVE B., HENRY Y., 1994. *J. Nutr.*, sous presse.
- NIELSEN H. E., 1973. 405. *Beretning fra forsøgslaboratoriet*, pp.152, Copenhague, Danemark.
- NOBLET J., HENRY Y., DUBOIS S., 1987. *J. Anim. Sci.*, 65, 717-726.
- OSLAGE H. J., SCHULZ E., 1977. *Proc. 5th Int. Symp. on Amino Acids*, Budapest, Hongrie.
- SCHEUERMANN S. E., MENKE K. H., 1987. 41. *Tagung Göttingen. Z. Tierphysiol. Tierernähr. und Futtermittelk.*, 58, 23-24.
- SÈVE B., GANIER P., HENRY Y., 1993. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 255-262.
- SÈVE B., 1991. *Journées Rech. Porcine en France*, 23, 91-110.
- SÈVE B., 1994. *INRA Prod. Anim.*, 7, 275-291.
- WIESEMÜLLER W., KNOBLOCH F., POPPE S., 1975. *Tierernährung u. Fütterung*, 9, 139-153.
- WILLIAMS A. P., 1984. *Proc. 6th Int. Symp. on Amino Acids*, Serock, Pologne.
- WÜNSCHE J., BORGMAN E., HENNIG U., KREIENBRING F., BOCK H. D., 1983. *Archiv. Tierernähr.*, 33, 389-413.
- WÜNSCHE J., MEINL M., KREIENBRING F., BOCK H. D. 1973. *Proc. 4th Int. Symp. on Amino Acids*, Brno.
- ZHANG Y., PARTRIDGE I. G., MITCHELL K. G., 1986. *Anim. Prod.*, 42, 389-395.