

Interaction entre les apports alimentaires de thréonine et de protéines sur le rendement d'utilisation des acides aminés pour la croissance chez le porcelet au sevrage

B. SÈVE (1), M. SAWADOGO (1), Valérie SCHAEFFER (2), Florence DUFOUR-ÉTIENNE (2),
D. BERCOVICI (2)*, Sabine VAN CAUWENBERGHE (2)

(1) I.N.R.A., Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles
(2) EUROLYSINE - 153, rue de Courcelles - 75817 Paris Cedex 17

Avec la collaboration technique de Maurice Alix, Jacques Lebst, Michel Lefebvre,
Raymond Vilboux aux unités expérimentales I.N.R.A., Philippe Ganier, Yvon Colléaux au laboratoire.

Interaction entre les apports alimentaires de thréonine et de protéines sur le rendement d'utilisation des acides aminés pour la croissance chez le porcelet au sevrage

Les variations du bilan corporel des protéines et des acides aminés, en fonction des taux de protéines et de thréonine du régime, ont été étudiées chez le porcelet au sevrage. A chacun de trois taux de protéines, 17, 22 et 28 % (8-10,6 et 13,1 g de lysine digeste par kg respectivement) on a comparé quatre taux de thréonine, 2,95, 3,35, 3,74 et 4,14 g/16 g N. À 17 % de protéines la réponse du dépôt de protéines est maximum au second taux de thréonine ; à 22 % de protéines les deux taux de thréonine les plus élevés donnent les performances maximales ; à 28 % de protéines, le taux de thréonine est sans effet marquant (interaction thréonine x protéines, $P < 0,07$). Le besoin en thréonine n'est donc pas proportionnel à l'apport de protéines. La réponse du dépôt protéique suit une loi curvilinéaire en fonction de l'apport journalier de thréonine indiquant que le besoin est satisfait avec le régime à 22 % de protéines, le rapport thréonine digeste/lysine digeste optimal étant situé dans l'intervalle 0,71-0,78. La valorisation d'un apport aussi élevé de thréonine semble possible grâce à la stimulation de l'activité de la thréonine déshydrogénase hépatique par les protéines alimentaires. Celle-ci permettrait une régulation efficace de la concentration en thréonine plasmatique évitant une dépression de l'appétit lorsque l'apport de thréonine augmente. L'étude des concentrations plasmatiques d'acides aminés et la comparaison de leurs rendements d'utilisation à ceux estimés pour la protéine idéale suggèrent que, lorsque le besoin en thréonine est satisfait, la lysine, les acides aminés soufrés et la thréonine sont co-limitants. Ces observations viennent à l'appui de l'hypothèse d'un besoin relativement plus élevé en thréonine et en acides aminés soufrés chez le porcelet au sevrage que chez le porc en croissance rapide.

Interaction between dietary threonine and protein supply on the efficiency of dietary amino acids for protein deposition in piglets at weaning

Variations of protein and amino acid deposition with dietary protein and threonine supplies were studied in piglets at weaning. At each of three protein levels, 17, 22 and 28 % (8-10.6 and 13.1 g digestible lysine/kg respectively), four levels of threonine, 2.95, 3.35, 3.74 and 4.14 g/16 g, were compared. With 17 % dietary protein, the response of protein deposition was maximal with the second level of threonine; with 22 % dietary protein, the two highest levels of threonine gave maximal performance; with 28 % dietary protein there was no consistent effect of the threonine level. Therefore, the requirement for threonine is not in proportion of dietary protein. The response of protein deposition to daily dietary protein intake was curvilinear. This indicated that the requirement for threonine was met with a 22 % protein diet and a ratio of digestible threonine/ digestible lysine within the 0.71-0.78 range. Valorisation of such a high level of dietary threonine seemed possible with the stimulation of threonine dehydrogenase activity in the liver associated with the increase in dietary protein. This may have resulted in a better control of threonine concentration in the plasma, preventing an appetite depression, when threonine intake was increasing. Both the study of plasma amino acid concentrations and comparison of their efficiencies for protein deposition to those previously estimated for the ideal protein suggested that lysine, sulphur amino acids and threonine were co-limiting when the requirement for threonine was met. These observations supported the hypothesis of a relatively higher requirement for threonine and sulphur amino acids in recently weaned piglets than in growing pigs.

INTRODUCTION

Le besoin en un acide aminé peut être prédit en fonction du niveau de performance selon la méthode dite factorielle. Cette méthode fait appel au rendement d'utilisation nette (RUN) de l'acide aminé pour la croissance que l'on peut définir, chez le porc en croissance rapide, comme la proportion de l'acide aminé digéré déposée sous forme de protéines corporelles, lorsque le besoin est satisfait sans excès. Toutefois, ce rendement n'est utilisable pour prédire le besoin que sous l'hypothèse d'une réponse linéaire de la performance de croissance aux apports alimentaires. Nous avons montré que cette linéarité n'est pas vérifiée dans le cas de la thréonine chez le porc en croissance de 20 à 50 kg (SÈVE et al, 1995; SAWADOGO, 1997). Chez le porcelet au sevrage, nous avons également montré précédemment une réponse en cloche de la croissance à l'apport de thréonine, s'expliquant par une baisse d'ingestion d'aliment en présence d'un excès marginal de thréonine par rapport à l'optimum (HENRY et SÈVE, 1993). Ceci peut s'expliquer par le fait que l'activité de la thréonine déshydrogénase (TDG), permettant au porc de disposer d'un excès de thréonine en produisant de la glycine (BALLÈVRE et al, 1991), est moins induite par son substrat que par l'apport de protéines (LE FLOC'H et al, 1994) ou l'apport de tryptophane (SÈVE et LE FLOC'H, 1998). L'objet principal de la présente expérience est de rechercher, sur la base des bilans corporels d'acides aminés et de leur rendement d'utilisation, si le besoin en thréonine est proportionnel à l'apport de protéines ou si l'on doit plutôt satisfaire un besoin journalier en thréonine indifféremment libre ou liée aux protéines. Secondairement, ce travail vise à rechercher les conséquences des variations du potentiel hépatique d'oxydation de la thréonine sur la capacité du porcelet à oxyder un excès éventuel d'apport de cet acide aminé et à couvrir son besoin.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux, régimes et schéma expérimental

Les porcelets, de race Large-White, proviennent de l'élevage de la station expérimentale de l'INRA à St-Gilles. Dès l'âge de 5 jours, ils ont reçu un aliment premier âge standard. Dix-huit portées de 6 porcelets sont sélectionnées au sevrage à 21 jours d'âge environ, au poids moyen de 5,8 kg. Dans chaque portée on constitue deux groupes de 3 porcelets homogènes en poids, un triplet de mâles castrés et un triplet de femelles. Le premier porcelet de chaque triplet est utilisé comme témoin et abattu le jour du sevrage. Les deux autres reçoivent les régimes expérimentaux.

Trois régimes de base, à 17, 22 et 28 % de protéines sont constitués en diluant un mélange protéique commun (tableau 1) par des quantités décroissantes d'amidon de maïs, 37,7; 19,2, et 0,66 respectivement, et en introduisant les éléments minéraux et les vitamines nécessaires à la satisfaction des besoins (INRA, 1989). Les rapports à la lysine des acides aminés soufrés et du tryptophane sont ajustés par supplémentation à des valeurs légèrement supérieures à celles de la protéine idéale. A chaque taux de protéines,

quatre taux de thréonine sont obtenus (2,95, 3,35, 3,74 et 4,14 g/16 g N) en substituant de la L-thréonine industrielle à l'amidon de maïs. On constitue donc au total 12 régimes expérimentaux.

Tableau 1 - Composition du mélange protéique commun

Ingrédients	%
Blé	59,37
Tourteau de soja	22,17
Tourteau d'arachide	14,11
CPSP 90	2,96
Lysine - HCl	0,57
DL - méthionine	0,26
L - tryptophane	0,01

Dans chaque portée, les deux porcelets expérimentaux appartenant au triplet mâle sont affectés au même taux de protéines et à une combinaison de deux parmi les quatre taux de thréonine testés ; les deux porcelets expérimentaux femelles reçoivent les deux autres taux de thréonine. Une répétition complète des 12 traitements expérimentaux est donc réalisée avec trois portées. Toutes les combinaisons intra-triplet mâle et femelle de quatre taux de thréonine deux à deux sont réalisées avec neuf portées et ce schéma est répété deux fois.

1.2. Logement, conduite de l'alimentation et abattage

Les porcelets de même portée occupent individuellement les loges adjacentes d'une batterie d'élevage équipée de nourrisseurs et d'abreuvoirs de type sucette à une température ambiante voisine de 26 °C. Les aliments sont distribués une fois par jour, pendant 25 jours en respectant un plan d'alimentation à un niveau proche de celui observé chez des animaux nourris à volonté. Les refus, y compris les quantités gaspillées, sont pesés chaque matin et sont cumulés par semaine et par individu aux fins de détermination de leur teneur en matière sèche. Les porcelets sont pesés avant distribution de l'aliment aux jours 4, 11, 18 et le jour de l'abattage à 25 jours. Les porcelets sont abattus 5 heures après avoir été pesés et avoir reçu la moitié de leur ration journalière. A la saignée on prélève un échantillon de sang puis le foie que l'on pèse et refroidit sur glace avant de découper des échantillons de chaque lobe pour les congeler dans l'azote liquide.

1.3. Analyses de laboratoire

Les échantillons corporels sont préparés à partir de l'animal vide (sans foie ni contenus digestifs) par broyage puis lyophilisation. Les méthodes analytiques (matière sèche, protéines et acides aminés) appliquées aux aliments expérimentaux ou aux échantillons corporels lyophilisés sont celles décrites par SÈVE et al (1995). Dans le cas du foie, ces analyses sont effectuées sur un pool d'échantillons individuels broyés par régime (12 analyses). Les techniques d'analyse des acides aminés du plasma sanguin sont celles décrites

Tableau 2 - Contrôle analytique des acides aminés totaux (%) des régimes et valeurs nutritionnelles estimatives (1)

Taux de protéines	1				2				3			
Taux de thréonine	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
L-thréonine cristallisée	0	0,063	0,126	0,189	0	0,084	0,168	0,250	0	0,105	0,210	0,315
Protéines	16,9	16,9	16,9	16,9	22,4	22,4	22,4	22,4	27,9	27,9	27,9	27,9
Lysine	0,92	0,91	0,91	0,91	1,19	1,24	1,27	1,23	1,45	1,43	1,43	1,50
Thréonine	0,50	0,57	0,63	0,70	0,66	0,75	0,83	0,92	0,81	0,92	1,00	1,15
Cystine	0,31	0,32	0,31	0,33	0,42	0,42	0,43	0,42	0,51	0,53	0,53	0,54
Méthionine	0,30	0,32	0,31	0,31	0,44	0,39	0,43	0,39	0,49	0,50	0,54	0,53
Mét + Cys	0,61	0,63	0,61	0,64	0,86	0,81	0,86	0,82	1,00	1,03	1,07	1,07
Isoleucine	0,58	0,62	0,63	0,59	0,71	0,72	0,76	0,76	0,96	0,96	0,96	1,03
Leucine	1,00	1,14	1,12	1,00	1,37	1,38	1,45	1,41	1,75	1,73	1,73	1,85
Valine	0,71	0,73	0,76	0,71	1,00	0,96	0,96	0,95	1,06	1,23	1,23	1,15
Phénylalanine	0,72	0,71	0,71	0,75	0,95	1,03	0,98	1,01	1,19	1,24	1,18	1,27
Tyrosine	0,44	0,41	0,44	0,46	0,58	0,59	0,60	0,56	0,77	0,69	0,69	0,72
Tyr + Phe	1,17	1,13	1,16	1,22	1,52	1,62	1,57	1,57	1,97	1,93	1,86	1,99
Histidine	0,34	0,32	0,35	0,34	0,47	0,45	0,46	0,47	0,58	0,56	0,60	0,59
Arginine	1,07	1,04	1,11	1,17	1,46	1,48	1,49	1,51	1,68	1,92	1,73	1,89
Ac. Aspartique	1,35	1,33	1,33	1,38	1,57	1,95	1,75	1,69	2,06	2,13	2,13	1,95
Ac. Glutamique	3,17	3,20	3,03	3,26	3,93	3,70	4,13	3,87	3,93	4,14	3,77	4,25
Glycine	0,74	0,74	0,73	0,75	1,05	0,99	1,00	0,98	1,10	1,27	1,08	1,19
Alanine	0,65	0,64	0,65	0,64	0,87	0,89	0,87	0,87	1,07	1,13	1,11	1,10
Sérine	0,82	0,81	0,83	0,84	1,06	1,08	1,11	1,09	1,35	1,38	1,35	1,32
Lys. digestible, g/kg		8,0				10,6				13,1		
Énergie nette, Mcal/kg		2,40				2,29				2,17		
Lys dig. / EN		3,3				4,65				6,0		
Thr dig./Lys dig.	0,55	0,63	0,70	0,78	0,55	0,63	0,71	0,78	0,55	0,63	0,71	0,78

(1) Bases d'estimations : INRA 1989; SÈVE et al 1993; JONDREVILLE et al 1995; NOBLET et al, 1994.

par SÈVE et al (1991). L'activité hépatique de la thréonine déshydrogénase (TDG) est effectuée sur un homogénat représentatif du foie au laboratoire Eurolysine d'Orsay, selon la méthode décrite par LE FLOC'H et al (1994).

1.4. Calculs et analyse statistique des résultats

Les quantités d'aliments ingérées sont calculées par différence entre les quantités distribuées et les refus, après correction pour leur teneur en matière sèche. On en déduit les quantités ingérées d'azote et d'acides aminés (N). Les contenus en azote et en acides aminés des porcelets vides et de leur foie sont obtenus à partir des analyses de lyophilisats broyés et des teneurs respectives des deux compartiments en matière sèche. Le contenu corporel total est obtenu en additionnant le contenu de l'animal vide et celui du foie. Les bilans corporels de protéines (N x 6,25) et d'acides aminés (Nc) sont effectués après estimation des contenus corporels initiaux sur la base du poids vif, au moyen des régressions établies chez les porcelets témoins selon la démarche décrite par SÈVE et al. (1995). À partir des bilans, on calcule les rendements d'utilisation nette de l'azote et des acides aminés (RUN = Nc/N). On calcule également le gain de poids vif et l'efficacité alimentaire (gain/ingéré). Les données d'ingéré, de gain et de bilan corporels sont ramenées au jour d'expérience.

Les données sont analysées statistiquement en utilisant les procédures GLM et REG de SAS (1989). L'effet du taux de

protéines est testé par rapport à la variation résiduelle entre portées. L'effet du sexe et son interaction avec le taux de protéines sont testés par rapport à la variation résiduelle entre triplets intra-portée. L'effet du taux de thréonine et ses interactions avec le taux de protéine et le sexe sont testés par rapport à la variation résiduelle intra-triplet. De plus, les effets des taux de protéine et de thréonine sont décomposés selon la méthode des contrastes polynomiaux en effets linéaire et quadratique. Le seuil de signification retenu est $P < 0,10$.

2. RÉSULTATS

Deux porcelets ayant été perdus, sans rapport avec les traitements expérimentaux, une répétition complémentaire (3 portées) a été mise en place. Les effets du sexe et ses interactions avec les taux de protéines et de thréonine n'étant pas significatifs, les résultats présentés sont ceux de l'analyse entre portées pour le taux de protéines et de l'analyse intra portée pour le taux de thréonine et l'interaction protéine x thréonine.

2.1. Performances de croissance et bilan azoté corporel (tableau 3)

Quel que soit l'apport de thréonine, sauf au second niveau, l'ingéré, le gain de poids moyen, l'efficacité alimentaire et le dépôt corporel de protéines quotidiens sont maxima à 22 %

Tableau 3 - Interaction taux de thréonine x taux de protéines de la ration de sevrage sur les performances de croissance et le dépôt de protéines.

a : Sur l'ingéré (g/i)

Thréonine g/16 g N (X)	2,95	3,35	3,74	4,14	Effet Y	Signification statistique		
						CV(1)	P(2)	
Protéines % (Y)						19,3	L	0,0999
16,9	337	338	329	305	327		Q	0,0885
22,4	363	352	382	392	372			
27,7	351	372	350	364	359			
Effet X	350	354	354	353	353	11,4	L	NS
					Interaction X*Y		Q	NS
								NS

b : Sur le gain de poids (g/i)

Thréonine g/16 g N (X)	2,95	3,35	3,74	4,14	Effet Y	Signification statistique		
						CV(1)	P(2)	
Protéines % (Y)						24,6	L=	0,0001
16,9	162	190	176	169	174		Q=	0,0121
22,4	232	236	251	273	248			
27,7	234	260	239	266	250			
Effet X	209	229	222	236	224	16,8	L=	0,0624
					Interaction X*Y		Q=	NS
								NS

c : Sur l'efficacité alimentaire (g/g)

Thréonine g/16 g N (X)	2,95	3,35	3,74	4,14	Effet Y	Signification statistique		
						CV(1)	P(2)	
Protéines % (Y)						16,3	L=	0,0001
16,91	0,49	0,56	0,53	0,55	0,53		Q=	0,0438
22,39	0,64	0,67	0,66	0,69	0,66			
27,72	0,67	0,70	0,68	0,73	0,69			
Effet X	0,60	0,64	0,62	0,66	0,63	9,3	L=	0,0105
					Interaction X*Y		Q=	NS
								NS

d : Sur le dépôt de protéines (g/i)

Thréonine g/16 g N (X)	2,95	3,35	3,74	4,14	Effet Y	Signification statistique		
						CV(1)	P(2)	
Protéines % (Y)						39,3	L=	0,0001
16,9	20	23	20	18	20		Q=	0,028
22,4	30	29	35	37	33			
27,7	32	34	30	35	33			
Effet X	27	29	28	30	29	21,3	L=	NS
					Interaction X*Y		Q=	NS
								0,069

(1) CV : coefficient de variation (écart-type résiduel/moyenne X 100).

(2) P : probabilité sous l'hypothèse nulle; L : effet linéaire; Q : effet quadratique.

puis se stabilisent voire baissent à 28 % de protéines alimentaires (effets linéaire et quadratique). La thréonine améliore significativement le gain de poids ($P < 0,10$) et plus encore l'efficacité alimentaire ($P < 0,001$). Toutefois, dans le cas du dépôt de protéines, l'interaction entre les niveaux de thréonine et de protéines atteint le seuil de signification ($P < 0,07$). Ainsi, à 17 % de protéines, la performance plafonne à 3,35 g / 16 g N de thréonine puis diminue aux taux plus élevés, parallèlement à une réduction d'ingéré. En revanche, à 22 % de protéines les deux taux de thréonine les plus élevés donnent les performances maximales, et à 27 % de protéines aucun effet marquant du taux de thréonine n'est enregistré.

2.2. Acides aminés plasmatiques et activité thréonine déshydrogénase hépatique (tableau 4)

Les taux plasmatiques d'acides aminés essentiels et semi-essentiels, excepté la phénylalanine, augmentent avec l'apport de protéines. La supplémentation des régimes de base en L-thréonine entraîne une augmentation linéaire de la teneur en thréonine du plasma ($P < 0,001$) d'amplitude différente selon le taux de protéines, l'interaction thréonine x protéines étant significative ($P < 0,001$) : entre le premier et

le troisième niveau d'apport de thréonine, l'accumulation de la thréonine dans le plasma est d'autant plus faible que le taux de protéine est plus élevé, + 650 % avec le régime à 17 % de protéines, + 270 % avec le régime à 22 % et +200 % avec les régimes à 28%. La teneur en sérine du plasma augmente aussi linéairement avec l'apport de thréonine. Dans le cas de la glycine, une tendance inverse est observée à 22 % de protéines, l'interaction thréonine x protéines étant significative. Cette interaction est également significative dans le cas de la teneur en méthionine du plasma : à 17 % de protéines, elle augmente entre le premier et le troisième niveau d'apport de thréonine pour se stabiliser ensuite ; à 22 et 27 % de protéines, elle diminue entre le premier et le troisième niveau d'apport de thréonine pour augmenter ensuite. En revanche, la teneur en lysine du plasma s'abaisse fortement ($P < 0,001$) dès le second niveau d'apport de thréonine, et une stabilisation est observée aux apports plus élevés (effets linéaire et quadratique), sans interaction significative thréonine x protéine.

L'activité de la TDG hépatique augmente de façon globalement linéaire avec le taux de protéines de la ration. Toutefois, le profil de réponse à la thréonine diffère selon le

Tableau 4 - Interaction taux de thréonine x taux de protéines de la ration sur les teneurs en acides aminés du plasma (mg/100mL) et sur les activités spécifiques de la thréonine déshydrogénase (TDG) hépatique (mol/min/kg poids vif)

Thréonine g/16g N (X)	Protéines % (Y)	Lys	Thr	Mét	Mét+ Cys	Ile	Leu	Val	Phé	Phé Tyr+	Gly	Ser	TDG
2,95	16,9	2,65	0,84	1,14	2,63	2,01	1,99	3,49	2,09	3,73	6,41	2,60	18
3,35		1,89	1,94	1,18	2,75	1,83	1,90	3,44	1,83	3,14	8,42	3,35	36
3,74		2,17	5,46	1,69	3,23	2,33	2,12	3,77	2,42	4,44	9,23	3,82	34
4,14	22,4	2,12	7,90	1,41	2,88	2,0	1,91	3,55	2,17	3,95	8,75	3,90	14
2,95		3,85	1,74	2,03	3,74	2,69	2,93	4,83	2,43	5,06	7,46	3,38	40
3,35		3,12	2,92	1,94	3,85	2,56	2,75	4,47	2,26	4,61	9,72	4,06	48
3,74	27,7	3,12	4,65	1,77	3,51	2,53	2,68	4,58	2,23	4,73	8,22	3,96	60
4,14		3,03	6,54	1,90	3,53	2,69	2,89	4,62	2,49	4,79	6,86	4,43	82
2,95		4,39	2,05	1,97	3,89	2,96	3,44	5,29	2,40	5,29	6,79	3,28	118
3,35		3,95	3,51	1,80	3,74	2,48	2,81	4,82	2,34	4,90	6,41	3,11	87
3,74		3,41	4,03	1,62	3,22	2,46	2,66	4,48	2,15	4,36	7,12	3,21	104
4,14		3,95	6,83	2,37	4,07	2,49	2,89	4,95	2,44	5,34	9,52	3,94	97
Signification statistique													
(X)	CV (1)	28,9	24,2	22,3	15,1	20,5	25,1	15,3	17,2	18,9	19,7	25,7	30,7
P (2)	L	0,04	0,001	N S	N S	N S	N S	N S	N S	N S	0,007	0,001	N S
-	Q	0,06	0,011	N S	N S	N S	N S	N S	N S	0,089	N S	N S	N S
(Y)	CV	42,0	37,1	30,8	52,7	26,9	32,7	26,3	27,6	30,2	45,4	42,7	20,1
P (2)	L	0,000	N S	0,000	0,096	0,006	0,000	0,000	N S	0,006	N S	N S	0,001
-	Q	N S	N S	0,049	N S	0,073	0,101	N S	N S	N S	N S	N S	N S
Interaction X*Y		N S	0,000	0,009	0,026	N S	N S	N S	N S	N S	0,000	N S	0,023
Effet taux de thréonine par taux de protéines													
16,91	L	N S	0,001	0,083	0,088	-	-	-	-	-	0,020	-	-
	Q	N S	0,103	N S	N S	-	-	-	-	-	N S	-	-
22,39	L	N S	0,001	N S	N S	-	-	-	-	-	N S	-	-
	Q	N S	N S	N S	N S	-	-	-	-	-	0,014	-	-
27,72	L	N S	0,001	0,010	N S	-	-	-	-	-	0,001	-	-
	Q	N S	0,107	N S	0,055	-	-	-	-	-	0,014	-	-

(1) et (2) voir tableau 2

Tableau 5 - Interaction taux de thréonine x taux de protéines de la ration sur les rendements d'utilisation nette des protéines (%) et des acides aminés digestibles.

Thréonine g/16 g N (X)	Protéines % (Y)	Prot,	Lys	Thr	Mét	Mét+ Cys	Ile	Leu	Val	Phé	Phé+ Tvr	His	Arg	Gly	Ser
2,95	16, 9	40,64	59,54	63,13	60,14	46,16	47,99	58,39	54,49	42,38	46,97	62,57	56,6	115,5	44,4
3,35		44,59	69,63	58,79	62,98	48,37	51,10	64,09	65,03	51,97	56,96	71,21	56,53	120,7	47,87
3,74		39,50	56,66	47,98	58,77	46,05	45,32	56,56	54,72	42,58	45,89	60,65	53,21	116	43,43
4,14		38,52	58,55	45,69	61,08	46,29	48,28	58,32	55,46	42,23	46,56	65,23	54,39	115,9	44,05
2,95	22, 4	41,23	58,66	64,13	59,76	44,52	47,93	50,84	54,77	40,97	46,21	66,49	53,72	93,25	42,83
3,35		40,73	54,98	51,97	54,01	40,60	43,07	54,15	49,38	38,44	44,12	66,2	48,89	96,76	39,75
3,74		45,67	65,83	52,93	60,48	45,88	50,27	63,29	62,88	51,14	53,2	75,88	55,49	98,23	44,92
4,14		47,07	64,63	48,39	62,06	45,53	51,03	63,77	59,17	45,59	50,61	77,11	58,26	111,4	45,2
2,95	27,7	35,30	50,32	55,49	44,73	36,25	38,74	48,66	47,77	34,76	39,67	56,82	41,47	90,05	36,27
3,35		35,54	50,26	46,56	47,50	37,39	38,16	49,33	47,41	35,44	39,43	55,82	41	79,63	34,27
3,74		33,09	50,84	41,96	48,71	36,35	38,71	49,34	49,45	37,56	39,99	53,44	41,91	82,47	34,45
4,14		37,30	56,71	42,64	52,64	40,68	44,94	54,87	54,54	41,09	45,4	61,05	45,19	91,9	37,96
Signification statistique															
(X)	CV (1),	16,2	15,9	16,6	16,5	16,6	19,0	19,7	16,9	18,5	14,3	14,3	17,7	21,8	16,0
	P (2)	NS	NS	0,001	NS	NS	NS	0,084	NS	NS	NS	0,084	NS	NS	NS
	-	NS	NS	0,097	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
(Y)	P	31,9	33,6	28,6	29,2	24,8	32,3	28,2	33,5	33,3	25,0	30,1	30,9	42,0	39,8
	-	NS	0,102	0,088	0,006	0,006	0,056	0,054	0,040	0,031	0,021	NS	0,007	0,015	0,053
	Q	0,094	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,032	NS	NS	NS
	Interaction X*Y	NS	0,031	NS	NS	NS	NS	NS	0,036	0,015	0,004	0,093	NS	NS	NS
Effet taux de thréonine par taux de protéines															
16,91	L	-	NS	0,001	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	-	-	-
	Q	-	NS	NS	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	-	-	-
22,39	L	-	0,109	0,012	-	-	-	-	NS	NS	NS	0,008	-	-	-
	Q	-	NS	NS	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	-	-	-
27,72	L	-	0,033	0,001	-	-	-	-	NS	0,037	NS	NS	-	-	-
	Q	-	NS	0,030	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	-	-	-

(1) (2) voir tableau 2

taux de protéines (interaction thréonine x protéines, $P < 0,02$). Il s'apparente à celui observé pour le dépôt corporel d'azote : à 17 % de protéines, l'activité plafonne aux taux intermédiaires de thréonine puis diminue, à 22 % de protéines la réponse au taux de thréonine est linéaire, alors qu'aucun effet marquant n'est observé à 28 %.

2.3. Rendement d'utilisation nette (RUN) des protéines et des acides aminés (tableau 5)

Le RUN des protéines est en moyenne de 41 et 44 % avec les régimes à 17 et 22 % de protéines, respectivement. Il baisse à 35 % avec les régimes à 28 % de protéines (effet quadratique). Le RUN de la majorité des acides aminés diminue de manière beaucoup plus linéaire avec le taux de protéines. Les RUN des protéines et des acides aminés sont peu influencés par l'apport de thréonine. Toutefois, lorsque l'apport de thréonine augmente, on observe un abaissement linéaire ($P < 0,001$) et quadratique ($P < 0,10$) du RUN de la thréonine elle-même, alors que celui de la leucine tend à augmenter. De plus, on observe une tendance générale à une interaction thréonine x protéines, significative dans le cas de la

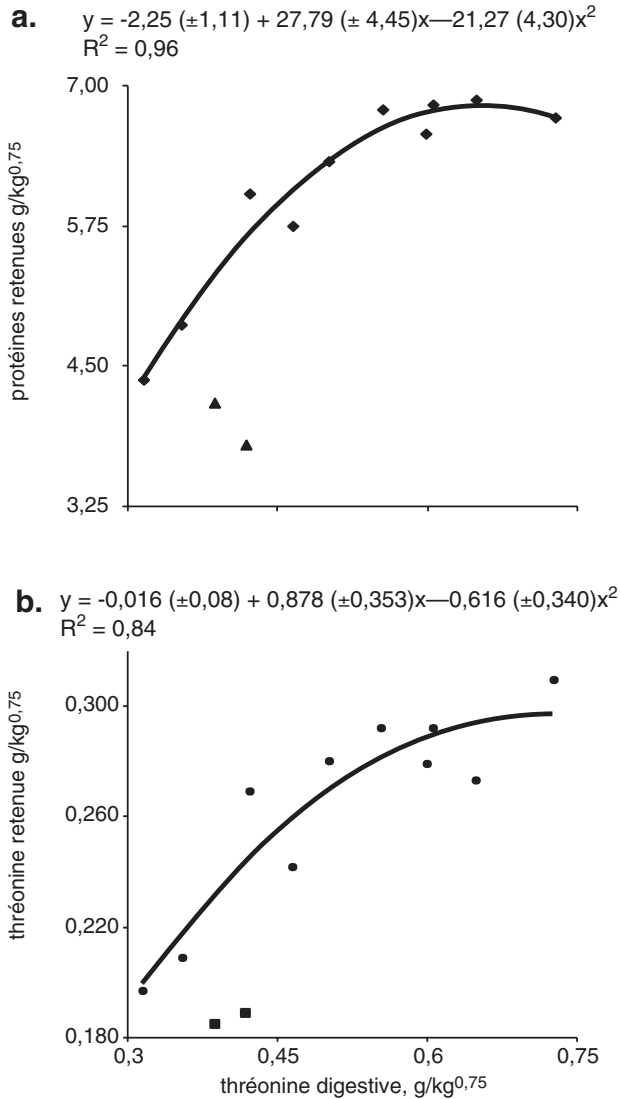
lysine ($P < 0,05$), de la valine ($P < 0,05$) et des acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine) ($P < 0,01$) : à 17 % de protéines, les RUN augmentent jusqu'au second niveau d'apport de thréonine puis diminuent ; à 22 % surtout, mais aussi à 27 % de protéines, les rendements augmentent linéairement du premier au quatrième niveau d'apport de thréonine

3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

3.1. Besoin en thréonine

Dans les régimes à 17, 22 et 28 % de protéines les rapports lysine digestible/ énergie nette (EN) peuvent être estimés à 3,3, 4,65 et 6,0, respectivement (tableau 1). Le rapport 4,65 est proche quoique inférieur à la recommandation faite pour l'aliment premier âge des porcelets (SÈVE, 1994). En revanche la valeur du régime à 28 % de protéines est nettement supérieure. Ceci explique l'effet quadratique des protéines sur le gain de poids, l'efficacité alimentaire et la rétention azotée. L'amélioration globale de ces performances avec la supplémentation en L-thréonine des régimes confirme

Figure 1 - Variation quadratique du dépôt protéique (a) et du dépôt de thréonine (b) journaliers par kg de poids métabolique (variable y) en fonction de la quantité de thréonine digeste ingérée quotidiennement par kg de poids métabolique (variable x) (Moyenne de 7 valeurs par point).



Les points représentés différemment sur chaque graphique correspondent aux régimes à 17 % de protéines aux deux niveaux de thréonine les plus élevés non pris en compte dans les ajustements, la thréonine n'étant pas le facteur limitant primaire.

le caractère limitant de cet acide aminé sans que l'on puisse déterminer clairement le niveau optimal d'apport indépendamment du taux de protéines. Dans ces conditions, on ne peut affirmer que le besoin en thréonine est proportionnel à l'apport de protéines. Il est alors intéressant d'étudier la variation des performances en fonction de l'apport journalier de thréonine digeste. Ces données confirment la réponse curvilinéaire du dépôt protéique à cet apport sans qu'il soit possible de distinguer les effets respectifs de l'augmentation des apports de thréonine digeste sous forme de protéines et de L-thréonine cristallisée (figure 1a). On peut estimer, selon la proposition de GAHL et al (1991), que le besoin minimal est l'apport permettant

d'obtenir 95 % du dépôt protéique maximum calculable à partir du modèle quadratique. Cette valeur de $0,53 \text{ g / kg}^{0,75}$ correspond à celle obtenue avec le régime à 22 % de protéines entre les 3^{ème} et 4^{ème} niveaux de supplémentation en L thréonine. En proportion de la lysine digeste, l'optimum de l'apport de thréonine se situerait donc entre 0.71 et 0.78. Parmi les estimations de la protéine idéale, seule celle de FULLER et al (1989), chez le porc de 40 kg de poids vif est en accord les résultats présents.

3.2. Signification des acides aminés plasmatiques et de l'activité TDG hépatique.

La comparaison des profils de réponse de la thréonine, de la lysine et de la méthionine plasmatique permet de penser que la lysine limite de moins en moins la réponse à la thréonine lorsque le taux de protéines augmente ; la méthionine devient équi-limitante à 22 % de protéines et peut-être même le facteur limitant primaire à 28 % de protéines. Les variations de la glycine et de la sérine plasmatique peuvent résulter de l'action de la TDG sur la thréonine. Toutefois, c'est surtout la variation du profil d'accumulation de thréonine dans le plasma en fonction du taux de protéines qui peut être rapprochée de celle de l'activité de la TDG. Ces données confirment que l'augmentation du taux de protéines de la ration induit plus efficacement l'activité TDG que ne le fait l'augmentation du taux de thréonine (LE FLOC'H et al, 1994). Bien que l'interaction thréonine x protéines sur l'ingéré n'atteigne pas le seuil de signification, ceci suggère que la stimulation de l'activité TDG favorise la consommation d'aliment en limitant l'accumulation de thréonine dans le plasma, autorisant ainsi l'augmentation du dépôt protéique et du gain de poids lorsque le taux de thréonine s'élève. En effet, une augmentation disproportionnée de la teneur en thréonine du plasma, provoque un afflux de cet acide aminé dans le cerveau (SÈVE et al, 1991; MEUNIER-SALAÜN et al, 1991) qui peut être à l'origine d'une réduction d'appétit chez le porcelet. De la même façon, l'une des explications de l'effet dépressif sur l'ingestion de l'addition de thréonine à un régime déficitaire en tryptophane est l'insuffisance de l'activité TDG, qui est aussi bien induite par le tryptophane (SÈVE et LE FLOC'H, 1998) que par les protéines alimentaires.

3.3. Rendements d'utilisation des acides aminés

Les régimes couvrant le besoin en thréonine à 22 % de protéines présentent des RUN de la lysine de 65 à 66 %. Ces valeurs sont similaires à celles déterminées précédemment dans les mêmes conditions de couverture du besoin en thréonine chez des porcs de 25 à 50 kg (SÈVE et al, 1995). Elles sont plus proches de la valeur estimée pour la lysine de la protéine idéale de l'Illinois (CHUNG et BAKER, 1992) que de celle estimée pour la lysine de la protéine idéale de WANG et FULLER (1989) (tableau 6, p 272). Toutefois, on sait que dans ce dernier cas, le rapport lysine/énergie était éloigné de celui permettant la croissance maximale. En définitive, chez les porcelets de la présente expérience recevant au sevrage les régimes à 22 % de protéines adéquats en thréonine, le rapport lysine digeste/énergie de 4.65 g/Mcal EN permet d'ap-

Tableau 6 - Comparaison des rendements d'utilisation des acides aminés avec ceux de la protéine idéale (estimés par SÈVE et HENRY, 1996).

	Présente expérience	Wang et Fuller (1989)	Chung et Baker (1992)
Lys	65,8-64.6	77,0	69,0
Thr	52,9-48.4	60,0	53,0
Mét	60,5-62.6	-	62,0
Mét+Cys	45,9-45.5	55,0	49,0
% Lys			
Lys	100,0	100,0	100,0
Thr	80,4-74.9	77,9	76,8
Mét	91,9-96.9	-	89,9
Mét+Cys	69,8-70.4	71,4	71,0

procher le besoin sans gaspillage excessif de lysine. Les rendements de la méthionine et des acides aminés soufrés sont dans le même rapport à celui de la lysine que ceux estimés pour la protéine idéale (tableau 6). Ceci est en accord avec nos observations sur les acides aminés plasmatiques et indiquerait que des rapports méthionine digestible/lysine digestible (0.33) et acides aminés soufrés digestibles/ lysine digestible (0.70) supérieurs à ceux de la protéine idéale sont bien nécessaires à la couverture des besoins du porcelet au sevrage.

La diminution du rendement d'utilisation de la thréonine lorsque l'apport augmente s'explique par la curvilinearité de la réponse du dépôt de thréonine (figure 1b), en accord avec les résultats de SÈVE et al (1995). Il se confirme donc que le besoin en thréonine ne peut être couvert sans perte obligatoire d'une fraction relativement importante par oxydation. Toutefois, il est remarquable que les rendements assez faibles (48-53 %) obtenus aux niveaux d'apport satisfaisant le besoin soient ici dans un rapport à celui de la lysine du même ordre que pour la protéine idéale (tableau 6). Cette observation conforte, chez le porcelet au sevrage, l'estimation d'un besoin élevé en thréonine à partir des résultats de cette expérience. Nos résultats suggèrent qu'une activité hépatique optimale de la TDG permet soit la couverture d'un besoin éventuel en glycine soit, plus vraisemblablement, une régulation plus efficace de la teneur en thréonine plasmatique à un niveau sans risque pour l'appétit du porcelet. En définitive, cette expérience montrerait que l'activité optimale de la TDG peut être obtenue avec 22 % de protéines dans l'aliment de sevrage et que, de ce fait, on peut satisfaire des besoins en thréonine, et sans doute aussi en acides aminés soufrés, relativement plus élevés que chez le porc en croissance rapide.

REMERCIEMENTS

À la société SANOFI SANTÉ NUTRITION ANIMALE (M. Robert PINOT) pour son soutien financier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALLÈVRE O., HOULIER, M.L., PRUGNAUD J., BAYLE G., BERCOVICI D., et al., 1991. Am. J. Physiol., 259 (Endocrinol.Metab., 24): E748-E757.
- CHUNG T. K., BAKER D. H., 1992. J. Anim. Sci., 70, 3102-3111.
- FULLER M. F., McWILLIAM, R., WANG T. C., GILES L. R., 1989. Br. J. Nutr., 62, 255-267.
- GAHL M. J., FINKE M. D., CRENSHAW T. D., BENEVENGA N. J., 1991. J. Nutr. 121, 1720-1729.
- HENRY Y., SÈVE B., 1993. Pig News and Information, 13 (1): 35N-43N.
- I.N.R.A., 1989. L'alimentation des monogastriques. INRA (éd), Paris, 282p.
- JONDREVILLE C., VAN DEN BROECKE J., GÂTEL F., VAN CAUWENBERGHE S. 1995. Document ITCF-EUROLYSINE, Paris, 52p.
- LE FLOC'H N., SÈVE B., HENRY Y., 1994. J. Nutr., 124, 1987-1995.
- MEUNIER-SALAÜN M.C., MONNIER M., COLLEAUX Y., SÈVE B., HENRY Y. 1991. J. Anim. Sci., 69, 3689-3698.
- NOBLET J., FORTUNE H., SHI X. S., DUBOIS S., 1994. J. Anim. Sci., 72, 344-354.
- SAS 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th edition, vol. 2., Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, NC, 846 pp.
- SAWADOGO M., 1997. Thèse Européenne de doctorat. École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 149 p.
- SÈVE B., MEUNIER-SALAÜN M.C., MONNIER M., COLLEAUX Y., HENRY Y., 1991. J. Anim. Sci., 69, 3679-3688.
- SÈVE B., GANIER P., HENRY Y., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 255-262.
- SÈVE B., 1994. INRA Prod. Anim. 7, 275-291.
- SÈVE B., SAWADOGO M., GANIER P., COLLEAUX Y. 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 245-252.
- SÈVE B., HENRY Y. 1996. In : Nunes, A. F., Portugal, A. V., Costa, J. P., Ribeiro J. R. Editors. Protein Metabolism and Nutrition. EAAP-Publication n°81, 59-82. Estação Zootecnica, Santarém (POR).
- SÈVE B., LE FLOC'H N., 1998. Journées Rech. Porcine en France, 30, 209-216.
- WANG T. C., FULLER M. F., 1989. Br. J. Nutr., 62, 77-89.