

AJINOMOTO EUROLYSINE INFORMATION

N° 26

Besoin en thréonine du porc Intérêt de la supplémentation en L-thréonine

Comme les autres acides aminés, la thréonine est un constituant des protéines animales (muscles, lait,...). Elle joue de plus des rôles physiologiques spécifiques : elle intervient notamment dans les processus de digestion et d'immunité. En conséquence, le besoin total en thréonine varie en fonction de l'importance relative de ses différentes fonctions. Déterminer le besoin en thréonine correspondant à chaque stade physiologique est donc clé pour formuler des aliments équilibrés. Les nutritionnistes sont amenés à considérer de plus en plus précisément le niveau de thréonine des aliments, qui peut être limitant dans de nombreuses formules porcs, surtout si elles ont une teneur réduite en matières azotées totales et comprennent une part importante de céréales et de lysine libre.

Quelle est la réponse du porc à la teneur en thréonine de l'aliment ?

Dans ce bulletin, les besoins en thréonine du porcelet, du porc charcutier, de la truie gestante et de la truie allaitante ont été revus sur la base d'une mise au point bibliographique et des résultats d'essais récents. Les implications de la thréonine dans l'entretien, les processus digestifs et l'immunité sont également documentés.

Boerderij/Elsevier, NL-Doetinchem



Table des matières

■ Réponse à la thréonine du porc charcutier	
Besoin en thréonine du porcelet.....	page 2
Besoin en thréonine du porc en croissance-finition	page 4
■ Réponse à la thréonine de la truie	
Besoin en thréonine de la truie gestante.....	page 8
Besoin en thréonine de la truie allaitante	page 10
■ Conclusions.....	page 12
Info 1. La thréonine, second acide aminé limitant en aliment porc.	page 13
Info 2. La thréonine, un nutriment clé pour le fonctionnement du tube digestif.	page 14
Info 3. Le besoin en thréonine augmente-t-il avec le poids de l'animal ?....	page 18
Info 4. Thréonine alimentaire et immunité.	page 19
Info 5. Effet du système d'évaluation des acides aminés sur la valeur du ratio Thr:Lys.	page 21

Réponse à la thréonine du porc charcutier

Afin d'estimer la réponse à la thréonine du porc charcutier, deux revues bibliographiques ont été conduites : l'une sur le porcelet de moins de 25 kg, l'autre sur les porcs de 16 à 120 kg. Seuls les articles rapportant, en plus des performances zootechniques, la composition des régimes expérimentaux et les niveaux des principaux acides aminés essentiels ont été pris en compte. Lorsque l'auteur ne donnait pas les teneurs en acides aminés digestibles, elles ont été calculées sur la base des coefficients de digestibilité iléale standardisée de la table AmiPig (2000).

■ Besoin en thréonine du porcelet*

Cinq articles ont été collectés, pour un total de six essais. Le tableau 1 résume les protocoles et le tableau 2 présente la composition et les valeurs nutritionnelles des régimes expérimentaux. Dans ces six essais, les niveaux croissants de thréonine étaient obtenus par le seul ajout de L-thréonine dans le régime de base, sauf chez Gatel et Feketé (1989b) dont la teneur en matières azotées totales des aliments expérimentaux variaient. Les réponses à la thréonine obtenues dans chaque essai sont présentées dans le tableau 3 (consommation, gain de poids et indice de consommation).

tab.1. Résumé des protocoles expérimentaux (6 essais thréonine en porcelet).

Références*	Âge au sevrage	Gamme de poids	Mat. azotées totales (%)	Energie MJ/kg	Nb d'animaux par traitement	Logement
Lewis & Peo, 1986	21 - 28 jours	4 - 14 kg	15,9	-	16	groupes de 4
Gatel & Feketé, 1989a	28 jours	8 - 25 kg	20	13,5 ED	105	groupes de 6 ou 7
Gatel & Feketé, 1989b	28 jours	8 - 25 kg	17,7 - 23,8	13,5 ED	96	groupes de 6 ou 8
Adeola et al., 1994	-	10 - 20 kg	18,1	-	6	individuel
Schutte et al., 1995	-	10 - 20 kg	18,5	9,7 EN	40	groupes de 10
Uisry, 1999	-	11 - 23 kg	19,0	13,9 EM modifiée	220	groupes de 22

* alimentation à volonté

* Cette revue a déjà été publiée dans le numéro précédent Ajinomoto Eurolysine Information F25 dédié à la nutrition azotée du porcelet.

tab.2. Composition et valeurs nutritionnelles des régimes de base (6 essais thréonine en porcelet).

	Lewis & Peo, 1986	Gatel & Feketé, 1989a	Gatel & Feketé, 1989b	Adeola et al., 1994	Schutte et al., 1995	Usry, 1999
Orge					35.0	
Blé		72.0	64.4 - 80.2			
Maïs				20.0	15.0	63.0
Sorgho	63.7					
Tourteau de soja	12.5	23.2	14.8 - 31.4	20.0	14.0	29.5
Pois					5.0	
Manioc					10.5	
Gruau d'avoine	15.0					
Farine de poisson	2.5				2.0	
Graisse animale				4.0	1.3	3.6
Amidon de maïs				37.4		
Poudre de lait écrémé				5.0		
L-lysine	0.67	0.47	0 - 0.53	0.67	0.22	0.23
L-thréonine	0 - 0.3	0 - 0.17	0 - 0.20	0 - 0.28	0 - 0.2	0 - 0.15
DL-méthionine	0.06	0.07	0 - 0.07	0.22	0.17	0.07
L-tryptophane	0.03		0 - 0.2	0.04	0.04	
L-isoleucine	0.07					
Autres	5.49	4.2	4.2	12.7	11.21	3.6
MAT (%)	15.9	20.0	17 - 23.8	13.1	18.5	19.0
Energie (MJ/kg)		13.5 DE	13.5 DE		9.7 NE	12.6 ME
Lysine dig.* (%)	1.15	1.13	1.05	0.90	1.00	1.11
Thréonine dig.* (%)	0.45 - 0.75	0.60 - 0.77	0.48 - 0.71	0.34 - 0.60	0.52 - 0.72	0.72 - 0.87

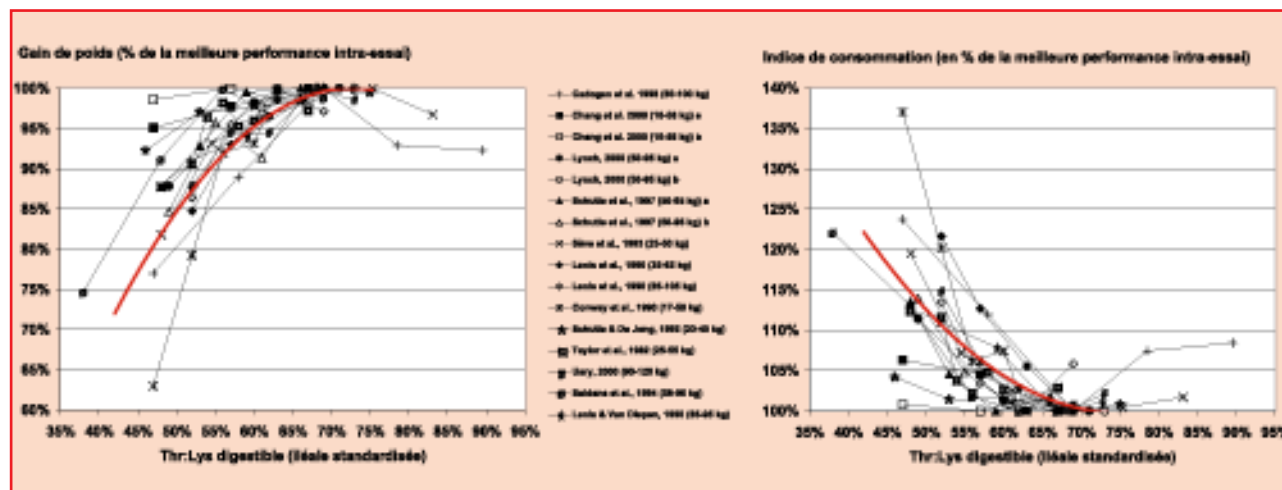
* digestibilité idéale standardisée

tab.3. Réponse zootechnique du porcelet à la thréonine (6 essais).

Lewis & Peo, 1986	[4-14 kg]					
Thr:Lys	39	43	47	52	58	65
ingéré (g/l)	511	489	522	502	480	522
Gain de poids (g/l)	268	262	287	298	283	312
indice de consommation	1.91	1.87	1.82	1.68	1.70	1.67
Gatel & Feketé, 1989a	[8-25 kg]					
Thr:Lys	53	59	68			
ingéré (g/l)	920	945	940			
Gain de poids (g/l)	526	532	552			
indice de consommation	1.75	1.71	1.7			
Gatel & Feketé, 1989b	[8-25 kg]					
Thr:Lys	46	56	65	68		
ingéré (g/l)	1040	1070	1070	1030		
Gain de poids (g/l)	567	611	626	596		
indice de consommation	1.84	1.74	1.71	1.74		
Adeola et al., 1994	[10-20 kg]					
Thr:Lys	38	45	52	59	67	
ingéré (g/l)	987	1011	1052	1072	1080	
Gain de poids (g/l)	337	353	437	488	492	
indice de consommation	2.93	2.86	2.41	2.20	2.20	
Schutte et al., 1995	[10-20 kg]					
Thr:Lys	54	58	62	65	69	73
ingéré (g/l)	691	674	676	683	695	700
Gain de poids (g/l)	453	458	463	471	478	476
indice de consommation	1.53	1.48	1.46	1.45	1.46	1.47
Usry, 1999	[11-23 kg]					
Thr:Lys	54	58	63	68		
ingéré (g/l)	735	741	741	757		
Gain de poids (g/l)	454	517	522	526		
indice de consommation	1.62	1.43	1.42	1.44		

Le niveau des performances est très différent d'un essai à l'autre, en raison des disparités de gamme de poids, de conditions expérimentales, de génotypes,... Afin d'identifier une réponse-type à la thréonine, les résultats de chaque essai (gain de poids et indice de consommation) ont été exprimés sur une échelle relative, en pourcentage de la meilleure réponse observée dans l'essai (figure 1).

fig. 1 Effet du ratio Thr:Lys (digestible iléale standardisée) des aliments sur le gain de poids et l'indice de consommation des porcelets de 4 à 25 kg (relativement à la meilleure réponse intra-essai, 6 essais).



L'analyse des résultats sur une échelle relative montre que la supplémentation en L-thréonine améliore les performances zootechniques. Gain de poids et indice de consommation sont à l'optimum pour un ratio Thr:Lys de 65% en base iléale digestible standardisée.

■ Besoin en thréonine du porc en croissance-finition

Douze articles rapportant seize essais sur des porcs entre 16 et 120 kg ont été collectés. Les protocoles expérimentaux sont résumés dans le tableau 4. Dans chaque essai, les traitements ne diffèrent que par leur teneur en thréonine, obtenue par ajout de L-thréonine dans un régime de base. La composition et les valeurs nutritionnelles des régimes de base figurent dans le tableau 5.

tab.4. Résumé des protocoles expérimentaux (16 essais thréonine en porc charcutier, 12 articles).

	Taylor et al. 1982	Conway et al. 1990	Schutte et al. 1995	Chang et al. 2000 a & b	Sève et al. 1993	Lenis et al. 1990 a & b
Gamme de poids vif (kg)	25 - 55	17 - 50	20 - 40	16 - 56	25 - 50	35 - 65 & 65 - 105
Nombre de porcs par case	-	6	10	-	3	1
Nombre de porcs par traitement	8	24	40	50	10	16
Nombre de traitements	8	5	6	3	6	4
Nombre total de porcs	64	120	240	150	60	64
Génotype	LW x Ld	Dld x GY	Dld x Pl	Yk x Ld x Dc	Pl x LW	GY x (GY x NL)
Sexe	féelles	mâles castrés / féelles	mâles castrés / féelles	mâles castrés / féelles	mâles castrés / féelles	mâles castrés et féelles
	Lenis et Van Diepen, 1990	Saldans et al. 1994	Schutte et al. 1997 a & b	Lynch, 2000 a & b	Cadogan et al. 1998	Uary, 2000
Gamme de poids vif (kg)	65 - 95	58 - 98	50 - 95	50 - 95	60 - 100	90 - 120
Nombre de porcs par case	8	2	8	13 - 14	10	8 - 10
Nombre de porcs par traitement	32	20	48	140	120	43
Nombre de traitements	4	5	8	5	5	5
Nombre total de porcs	128	100	384	714	600	215
Génotype	GY x (GY x NL)	(YkxLd) x (DcdHp)	LW x DLd	(Ld x LW) x race à viande	Bunge	PIC 337XC22
Sexe	mâles castrés / féelles	mâles castrés / féelles	féelles	mâles castrés / féelles	mâles / castrats / féelles	mâles castrés / féelles

tab.5. Composition et valeurs nutritionnelles des régimes de base (16 essais thréonine en porc charcutier).

	Taylor et al., 1992	Comery et al., 1990	Sutcliffe et al., 1997 a	Chang et al., 1998	Chang et al., 2000 a	Sera et al., 2000 b	Leah et al., 1992	Leah et Van Gersen, 1990	Saldana et al., 1994	Sutcliffe et al., 1997 b	Sutcliffe et al., 1997 c	Lynch, 2000 a	Lynch, 2000 b	Castagna et al., 1998 60-75 kg	Castagna et al., 1998 75-100 kg	Urry, 2000	
Composition, %																	
Orge	84.90		35.00				92.80	15.00		26.00		15.00	1.00	15.00	15.00	35.00	39.70
Mais		36.20	15.00	71 - 78	71 - 80				15.30		2.00	21.00					
Blé										45.00	1.00		48.00	40.00	62.00	52.00	
Seigle											12.00						
Lupin								8.50				10.00	22.50	24.30	5.80	2.73	
Pois			5.00					34.10	33.50								
Maïs			14.42							6.20	2.70						
Seigle										96.24							
Tourteau de soja	4.00		14.70	14.5 - 17.8	14.5 - 18.7			9.90	5.90		9.00	1.40			2.00		6.20
Tourteau de colza												7.90					
Farine fourragère de maïs		40.00					7.74	9.00									
Tourteau d'arachide									9.00								
Lucerne																	
Gluten de blé							3.85										
Ramouillage de blé			2.00								10.00	11.00	7.90	13.20			
Son de blé								15.00									
Corn gluten feed									5.50		1.90	13.00					
Acides de maïs							1.18			0.20							
Poudre de lait écrémé									1.90								
Huile de soja			0.80						1.40		0.90	2.00					
Graisse animale				1.7 - 4.3	1.7 - 4.8			2.00					1.20	2.00			1.50
Farine de poisson	2.00		2.00														
Conc. protéines carnées		50.70	1.00												1.00	1.00	
Lactosérum			3.00														
Mélasse			2.00	4.00	4.00		4.00	3.00		4.00	4.00	3.00	3.00	3.00			
Astres	3.48	12.30	4.71	2.90	2.65	4.00	4.00	2.30	2.30	2.83	3.10	2.00	2.20	2.18	3.93	4.00	3.00
L-lysine HCl	0.60	0.66	0.21	0.83-0.49	0.77-0.83	0.58	0.31	0.63		0.89	3.00	0.32	0.39	0.17	0.40	0.37	0.34
L-théonine	0 - 0.38	0 - 0.2	0 - 0.29	0.12-0.42	0.13-0.42	0 - 0.27	0 - 0.16	0 - 0.17	0 - 0.2	0 - 1.2	0 - 1.2	0 - 0.18	0 - 0.08	0 - 0.08	0 - 0.27	0 - 0.25	0 - 0.13
DL-méthionine	0.12	0.06	0.13	0.15-0.21	0.22	0.04	0.15	0.12	0.85	0.70	0.05				0.09	0.53	
L-tryptophane	0.03	0.06	0.03			0.03	0.05	0.05	0.06		0.05				0.02	0.01	0.02
L-isoleucine		0.19					0.07	0.10	0.03						0.01	0.02	0.05
L-valine		0.06				0.01		0.03									
L-histidine		0.09						0.06									
Matières azotées totales (%)	12.9	15.4	17	17	17	18.4	13.7	13.4	10.5	14.7	15.1	14.8	16.6	13.4	11.7	10	
Energie (Mj/kg)		0.8 ME	0.6 ME	14.8 DE	14.8 DE	13.4 DE	0.04 ME	0.4 NE	14.0 DE	0.08 ME	0.08 ME	0.8 NE	0.7 NE	0.47 NE	0.36 NE	13.7 ME	
Matières grasses (%)	1.8		2.8				3.4	3		2.4	4.8	3.9	3.8	2.3	2.1		
Cellulose brute (%)	3.7		3.8				4	3.6		3.4	4.4	4.4	4.8	3	3.4		
Lysine dig.* (%)	0.86	1.1	0.81	1	1.12	0.77	0.77	0.73	0.83	0.71	0.71	0.78	0.75	0.74	0.7	0.66	
Thréonine dig.* (%)	0.39-0.53	0.52-0.69	0.37-0.81	0.47-0.87	0.53-0.75	0.37-0.94	0.40-0.53	0.38-0.53	0.24-0.43	0.34-0.46	0.34-0.47	0.38-0.56	0.48-0.55	0.35-0.67	0.33-0.56	0.29-0.41	

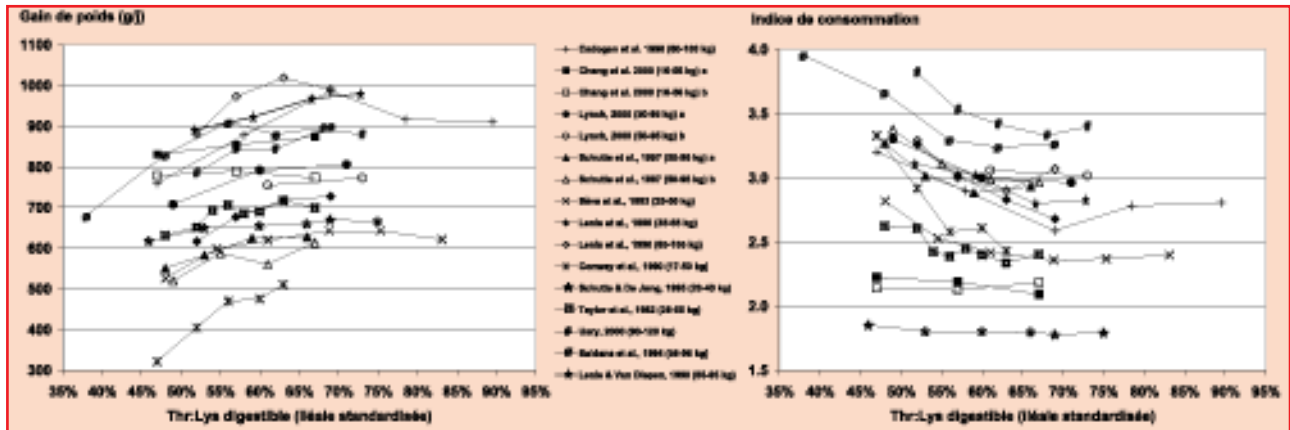
* digestibilité Nive standardisée

La réponse des porcs à la thréonine obtenue dans chaque essai est présentée sur la figure 2.

Boerderij/Elsevier, NL-Doetinchem



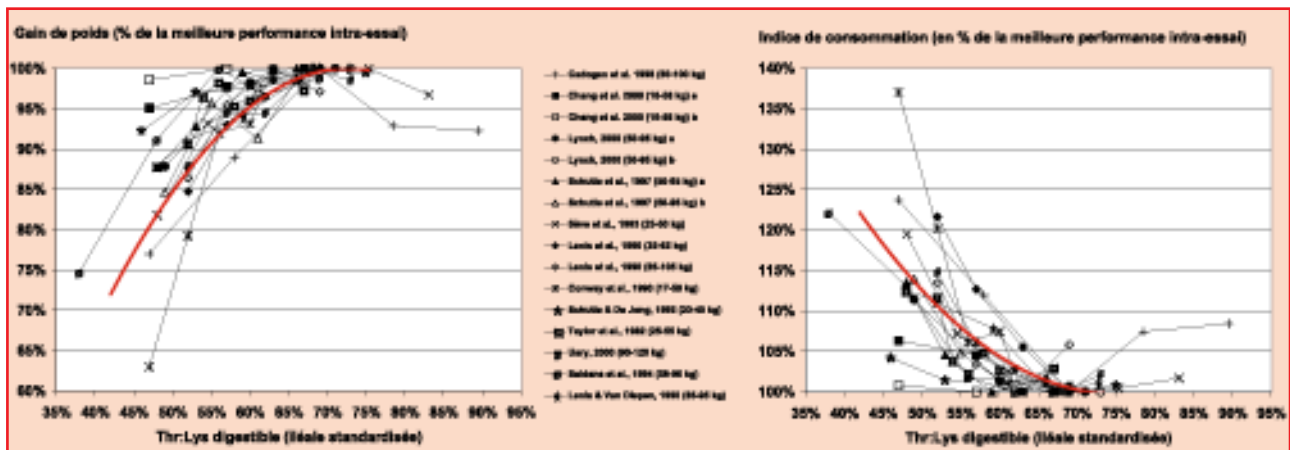
fig. 2 Effet du ratio Thr:Lys (digestible iléale standardisée) des aliments sur le gain de poids et l'indice de consommation des porcs entre 16 et 120 kg



Comme dans l'étude porcelet, les résultats zootechniques ont été exprimés relativement à la meilleure performance intra-essai, afin de déterminer une réponse moyenne à la thréonine indépendante des spécificités de chaque essai (figure 3).

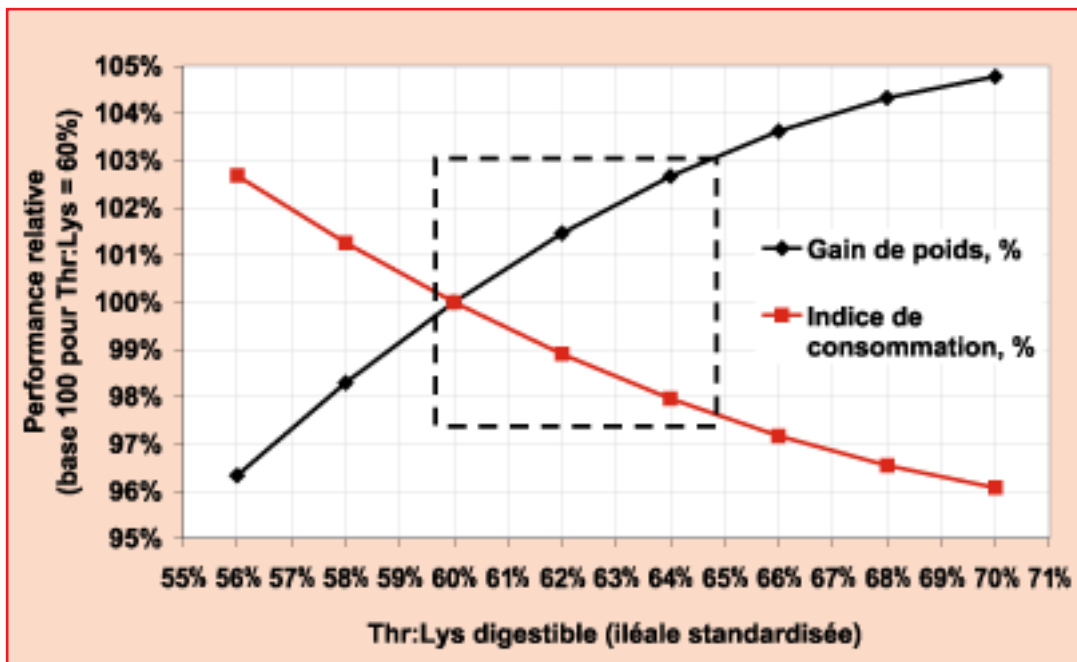
Sur cette échelle relative, les données révèlent une plus forte variabilité que celles obtenues sur le porcelet. Ceci est dû en partie au nombre supérieur d'essais étudiés (16 en porc charcutier contre 6 en porcelet). Les différences de statut sanitaire, de composition alimentaire, de gamme de poids,... entre les essais peuvent être responsables de la variabilité. Sur les 16 essais, 6 concluent à un ratio Thr:Lys optimal légèrement inférieur à 65%, tandis que les 10 autres situent l'optimum entre 67 to 73% (69%, en moyenne). Au final, dans la plupart des essais et en moyenne (figure 3), les performances sont maximales en porc charcutier au-delà de 65% (ratio Thr:Lys exprimé en base digestible iléale standardisée).

fig. 3 Effet du ratio Thr:Lys (digestible iléale standardisée) des aliments sur le gain de poids et l'indice de consommation des porcs entre 16 et 120 kg (relativement à la meilleure réponse intra-essai, 16 essais).



Les équations polynomiales correspondant aux courbes de réponses rouges de la figure 3 permettent de quantifier l'amélioration moyenne des performances liée à la modulation du ratio Thr:Lys. Lorsque le ratio Thr:Lys passe de 60 à 65% par une supplémentation en L-thréonine, le gain moyen quotidien augmente de 3 points et l'indice de consommation diminue de 2.5 points (figure 4).

fig. 4 Effet moyen d'une augmentation du ratio Thr:Lys (base digestible iléale standardisée) par supplémentation en L-thréonine sur le gain moyen quotidien (GMQ) et de l'indice de consommation (IC) du porc entre 16 et 120 kg (dérivé de la figure 3).



$$\text{GMQ (\%)} = -2.9877 \times \text{Thr:Lys}^2 + 4.3392 \times \text{Thr:Lys} - 0.5755$$

$$\text{IC (\%)} = 2.0587 \times \text{Thr:Lys}^2 - 3.0863 \times \text{Thr:Lys} + 2.1544$$

Boerderij/Elsevier, NL-Doetinchem



Réponse à la thréonine de la truie

■ Besoin en thréonine de la truie gestante

Les truies gestantes sont des animaux lourds et ont en conséquence un besoin d'entretien élevé. Comme le besoin total en acides aminés dépend à la fois du dépôt de tissu corporel et des dépenses d'entretien, le profil Thr:Lys du besoin de la truie gestante devrait être logiquement plus proche de celui du besoin d'entretien (voir Info 3). Plusieurs recommandations officielles indiquent d'ailleurs un ratio Thr:Lys optimal plus élevé pour la truie gestante que pour le porc en croissance (tableau 6).

tab.6. Ratios Thr:Lys recommandés dans l'aliment des truies gestantes.

	ARC, 1981	Dourmad, 1997 ¹	NRC, 1998
Thr:Lys	84%	71%	70%

¹ Ajinomoto Eurolysine Information Bulletin N°21

Ces recommandations ont, pour la plupart, été obtenues par des calculs fondés sur le besoin d'entretien de Fuller *et al.* (1989), et peu de validations expérimentales ont été publiées avant le récent article de Dourmad et Etienne (2002). Ces auteurs ont déterminé successivement les teneurs en lysine (Exp. 1, tableau 6 et figure 5) et en thréonine (Exp. 2, tableau 7 et figure 6) de l'aliment qui optimisent la rétention azotée des truies. Les deux essais ont été conduits en carré latin 4x4 sur 8 et 16 truies gestantes, respectivement. Les résultats du premier essai ont été utilisés pour définir le niveau sub-limitant de lysine (0.33%) appliqué dans le second essai visant à étudier le ratio Thr:Lys optimal.

tab.7. Composition et valeurs nutritionnelles des régimes de l'essai lysine (Exp.1) et de l'essai thréonine (Exp.2) de Dourmad et Etienne (2002).

Composition (%)	Exp.1	Exp.2
Blé	30.88	40.00
Maïs	45.00	-
Orge	-	34.34
Betterave	9.50	9.00
Gluten de maïs	10.00	-
Amidon de maïs		11.10
Autres	4.25	4.08
L-lysine HCl	0 - 0.30	1.85
L-thréonine	0.41	0 - 0.10
DL-méthionine	-	0.37
L-tryptophane	0.26	0.05
L-isoleucine	-	0.69
L-valine	-	0.66
Matières azotées totales	14.30	9.30
Matières grasses	2.36	3.55
Cellulose brute	3.30	5.33
EM (MJ/kg)	13.70	12.88

fig. 5 Réponse des truies gestantes à la lysine (Dourmad et Etienne, 2002).

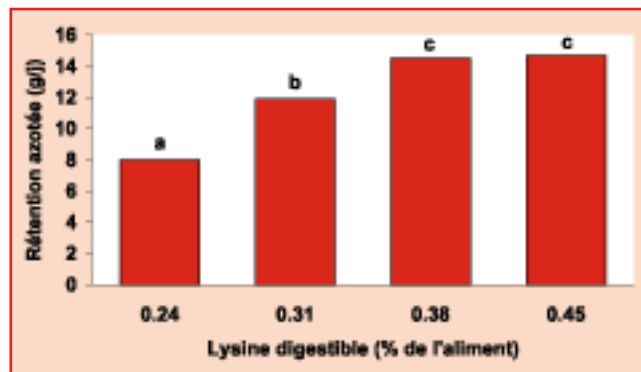
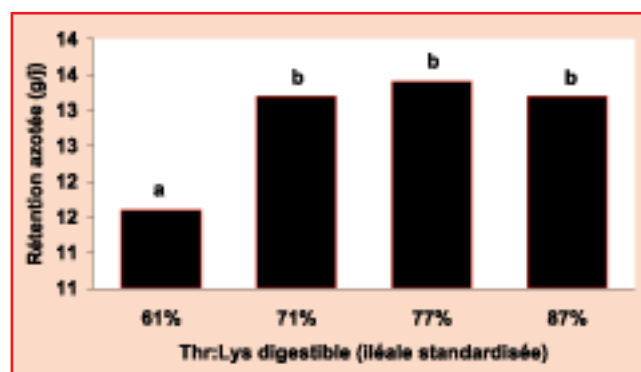


fig. 6 Réponse des truies gestantes à la thréonine (Dourmad et Etienne, 2002).



Les résultats de Dourmad et Etienne (2002) confirment que le ratio Thr:Lys qui optimise les performances de la truie est plus élevé que pour le porc en croissance et qu'il est supérieur à 70% (base digestible iléale standardisée).

Boerderij/Eisevier, NL-Doetinchem



■ Besoin en thréonine de la truie allaitante

Comme pour les truies en gestation, l'approche factorielle donne pour les truies en lactation un profil Thr:Lys du besoin en thréonine supérieur à celui des porcs plus légers. Ceci a été confirmé par le travail expérimental publié par Westermeier *et al.* (1998) et Paulicks *et al.* (1998). Ces auteurs ont étudié la réponse à la thréonine de 72 truies multipares sur 35 jours de lactation. Les aliments expérimentaux se distinguaient par leur ratio Thr:Lys obtenu par ajout de L-thréonine dans un régime de base semi-synthétique. Le tableau 8 rapporte la composition et les valeurs nutritionnelles du régime de base.

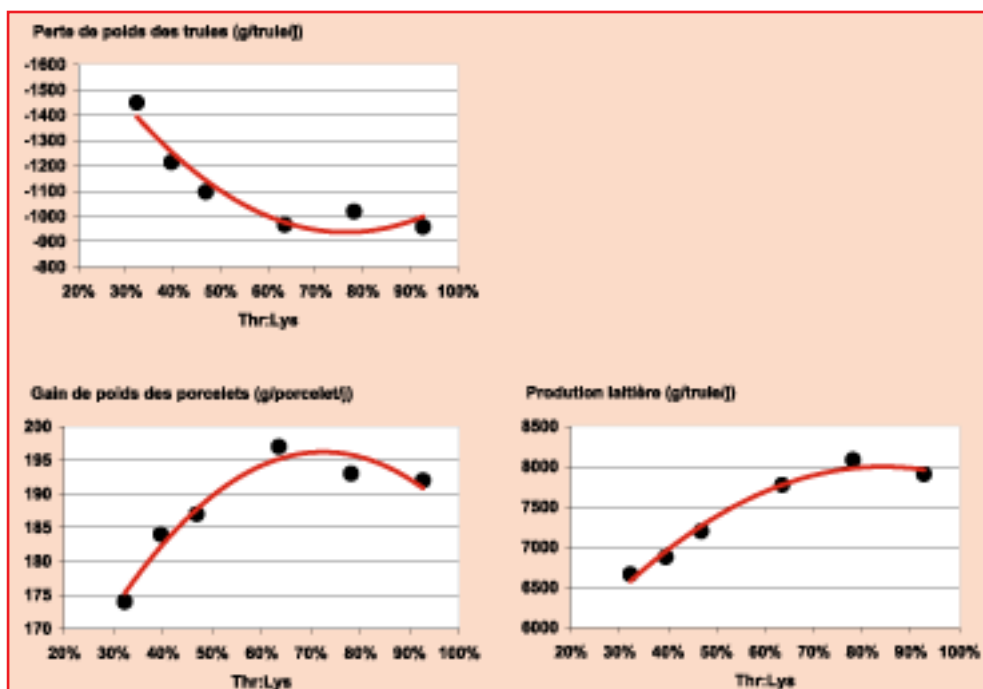
tab.8. Composition et teneur analysée en nutriments du régime de base (Westermeier *et al.*, 1998 et Paulicks *et al.*, 1998)

Ingrédients	(%)	Nutriments	analysés (%)
Blé	44.0	Matière sèche	90.1
Gluten de blé	8.5	Mat. azotées totales	14.5
Amidon de maïs	23.0	Mat. grasses	2
Sucre	9.0	Cellulose brute	5.4
Huile de soja	1.0	Lysine totale	0.96
Cellulose	6.0	Thréonine totale	0.31
Autres	5.5	Tryptophane total	0.18
L-lysine HCl	0.92	ME (MJ/kg)	13.5
L-thréonine	0 - 0.64		
Autres acides aminés*	1.93		

* DL-Met, L-Trp, L-Val, L-His, L-Leu, L-Ile, L-Phe

L'ajout croissant de L-thréonine dans l'aliment a permis de réduire la perte de poids des truies et d'augmenter la production laitière et la croissance de la portée. Les performances étaient optimisées avec un ratio Thr:Lys totale de 74% (figure 7). Ce ratio correspond à un ratio supérieur à 72% sur une base digestible idéale standardisée, du fait que la thréonine de ces régimes semi-synthétiques était hautement digestible.

fig. 7 Effet du ratio Thr:Lys de l'aliment sur les performances des truies en lactation (Westermeier *et al.*, 1998 et Paulicks *et al.*, 1998)



Le ratio Thr:Lys optimal trouvé par Westermeier *et al.* (1998) et Paulicks *et al.* (1998) est plus élevé que celui rapporté par Cooper *et al.* (2001), à savoir 69% en total (soit 65% en base digestible iléale standardisée). Néanmoins, comme mentionné par les auteurs, ces résultats ont été obtenus avec des truies qui ne perdaient pas de poids pendant la lactation. Une telle situation est inhabituelle : en pratique les truies peuvent perdre jusqu'à 15 ou 20 kg (Boyd *et al.*, 2000 ; Renaudeau *et al.*, 2001). Dans l'essai de Cooper *et al.* (2001), les truies avaient une capacité d'ingestion élevée. Leur besoin en acides aminés essentiels a été couvert entièrement par l'aliment, sans recours à la mobilisation des tissus corporels. A ce sujet, l'article de Kim *et al.* (2001) suggère que le ratio Thr:Lys optimal de l'aliment serait de 65% lorsque les acides aminés essentiels proviennent exclusivement de l'aliment, et de 75% lorsqu'ils proviennent exclusivement de la mobilisation des tissus maternels. Leurs résultats se rapprochent de ceux de Westermeier *et al.* (1998) and Paulicks *et al.* (1998) et tendent à confirmer que sur la période totale de lactation (pour laquelle à la fois l'aliment et les réserves maternelles sont sollicités) un ratio Thr:Lys supérieur à 70% (base digestible iléale standardisée) optimise les performances.



Habbe Fotografie

Conclusion

La revue bibliographique réalisée et les récents résultats d'essais ont permis d'établir la réponse à la thréonine du porcelet, du porc charcutier, de la truie gestante et de la truie allaitante. Le ratio Thr:Lys qui maximise les performances du porcelet est confirmé à 65% (base digestible iléale standardisée). Chez le porc charcutier, 65% semble être un minimum pour optimiser le gain de poids et l'indice de consommation (10 des 16 essais étudiés ont trouvé leur optimum au-delà de 67%). Chez la truie, les meilleures performances sont obtenues avec un ratio Thr:Lys supérieur à 70%, en gestation comme en lactation.

Besoin en thréonine du porc

<i>Porcelets</i>	<i>Thr:Lys*</i> = 65 %
<i>Porcs en croissance-finition</i>	> 65 %
<i>Truies en gestation</i>	> 70 %
<i>Truies en lactation</i>	> 70 %

* base digestible iléale standardisée



Habbe Fotografie

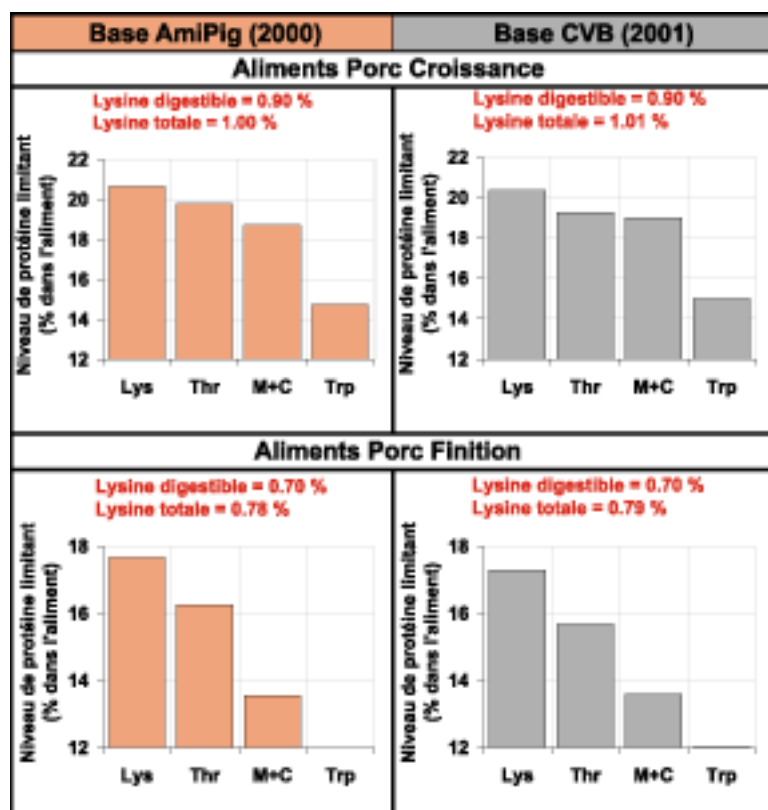
La thréonine est le deuxième acide aminé limitant dans les aliments porc

Le classement des acides aminés limitants d’une formule est déterminé par les taux protéiques auxquels chacun des acides aminés devient limitant. Ces taux protéiques dépendent des spécifications en acides aminés appliquées à l’aliment ainsi que du profil des ingrédients sélectionnés afin de pourvoir aux spécifications.

Afin d’identifier, dans une situation standard, le classement des acides aminés limitants, un aliment croissance et un aliment finition ont été formulés, avec 0.90 et 0.70 % de lysine digestible respectivement, en appliquant les ratios d’Henry (1993) : 65%, 60%, 18% pour les ratios Thr:Lys, M+C:Lys et Trp:Lys digestible respectivement). Les matières premières retenues pour la formulation sont le blé, l’orge et le tourteau de soja. Leur teneur en matières azotées totale et en acides aminés ont été renseignées successivement dans les tables AmiPig (2000) et CVB (2001).

La figure 8 illustre les taux protéiques auxquels chacun des acides aminés devient limitant, dans les formules décrites ci-dessus.

fig. 8 Classement des acides aminés limitants des aliments porcs croissance et finition formulés à partir d’un mélange blé-orge-tourteau de soja



La figure 8 confirme que, sur la base de la table AmiPig (2000) comme du CVB (2001), la lysine est le premier acide aminé limitant dans les aliments porc. En appliquant les spécifications décrites ci-dessus, en l’absence d’une supplémentation en L-lysine, il est impossible d’abaisser le taux protéique de l’aliment en dessous de 20.6 et 17.7% respectivement pour les aliments croissance et finition. En l’absence d’une supplémentation en L-thréonine, il est impossible d’abaisser le taux protéique en dessous de 19.8 et 16.2% en maintenant un ratio Thr:Lys à 65% (base digestible). Cet exercice de formulation montre que, dans les aliments formulés à base de blé, d’orge et de tourteau de soja, la thréonine est le deuxième acide aminé limitant après la lysine et devant les acides aminés soufrés.

La thréonine : un nutriment clé pour le fonctionnement du tube digestif

La majeure partie de la thréonine alimentaire (au même titre que les autres acides aminés) est absorbée dans le segment antérieur de l'intestin grêle nommé iléon. Le résidu, dit indigestible, est retrouvé à la fin de l'iléon.

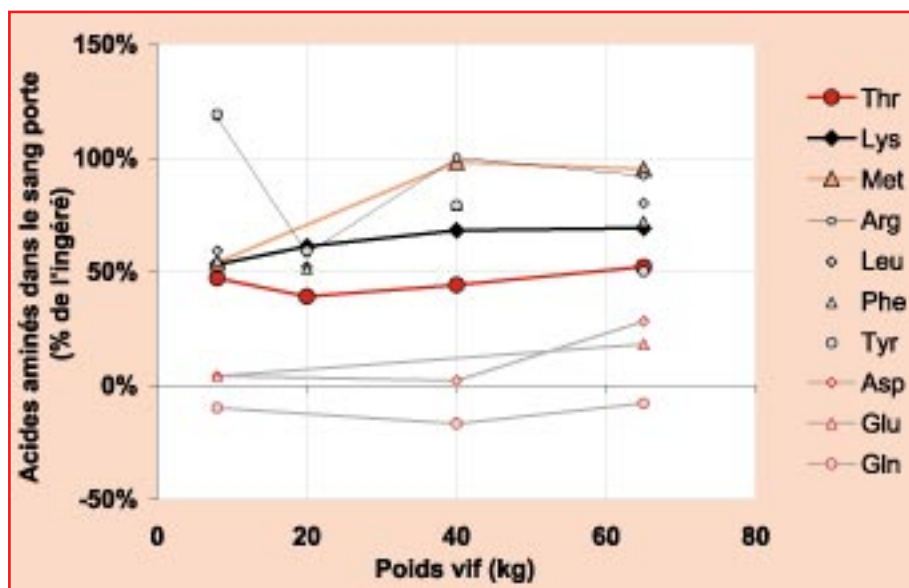
La thréonine absorbée au niveau de l'iléon n'est pas intégralement délivrée dans la veine porte qui collecte les nutriments issus de la digestion. En effet, une part significative de la thréonine digestible serait utilisée par la paroi intestinale.

Stoll *et al.* (1998) ont conduit une étude par marquage isotopique sur des porcelets de 28 jours d'âge et 8 kg de poids vif. Ils ont montré que seulement 40% de la thréonine digestible présente dans la lumière du tube digestif atteint le sang porte. En d'autres termes, les entérocytes consommeraient 60 % de la thréonine digestible, soit deux fois plus que les proportions trouvées pour la lysine dans la même étude.

L'importance du prélèvement de thréonine par l'intestin a été confirmée par Bertolo *et al.* (1998) dans une étude portant sur des porcelets nouveaux-nés (animaux d'environ 2 kg âgés de 3 jours). Ils ont comparé le besoin en thréonine de porcelets nourris de façon parentérale (la thréonine est apportée directement dans le sang via un cathéter jugulaire) au besoin en thréonine de porcelets nourris oralement (la thréonine apportée par une sonde gastrique passe par l'iléon). Ils ont observé que les quantités de thréonine requises pour maximiser la rétention d'azote, mesurée par le taux d'oxydation de la phénylalanine, étaient deux fois plus importantes chez les animaux recevant la thréonine par voie orale que chez les porcelets recevant la thréonine par voie parentérale. Ils en concluent que chez les porcelets nourris oralement, l'intestin prélève 55% de la thréonine digestible ingérée.

Dans un article de synthèse, Burrin *et al.* (2001) ont établi le bilan porte net des principaux acides aminés (quantité de nutriments dans le plasma de la veine porte, par rapport à la quantité de nutriments dans la lumière intestinale). Les données sont illustrées sur la figure 9. Ils estiment qu'environ 50% seulement de la thréonine digestible atteint le sang porte, contre 75% pour la lysine.

fig. 9 Bilan porte net (% acides aminés digestibles) chez le porc (Burrin *et al.*, 2001)



Le prélèvement de thréonine par l'intestin ainsi mis en évidence peut être relié à la production par l'intestin de sécrétions digestives riches en thréonine, parmi lesquelles le mucus. Ce gel, sécrété par les cellules à gobelet réparties à la surface des villosités intestinales (figure 10), recouvre les parois du tube digestif et le protège des attaques enzymatiques ainsi que des dommages physiques éventuellement causés par les digesta. Le mucus est principalement composé d'eau (95%) et de mucines (5%). Les mucines sont des glycoprotéines de haut poids moléculaire, particulièrement riches en thréonine (figure 11).

fig. 10 Photographie des cellules à gobelet sécrétant le mucus et représentation schématique de l'épithélium intestinal

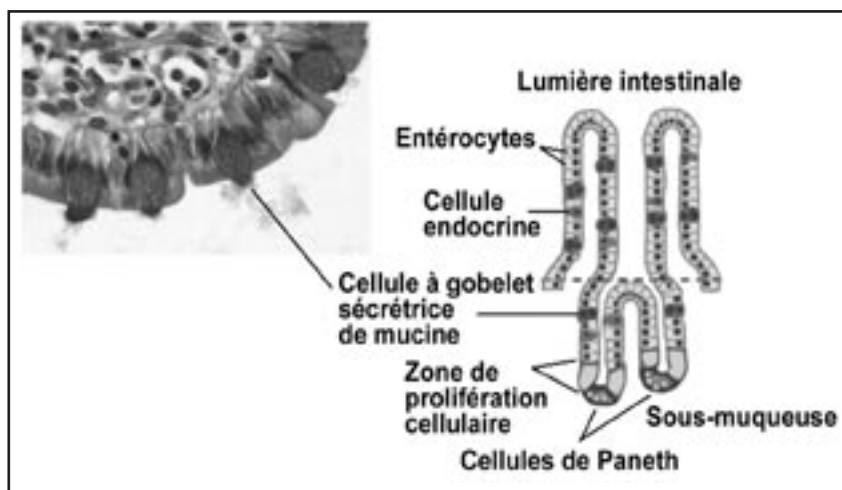
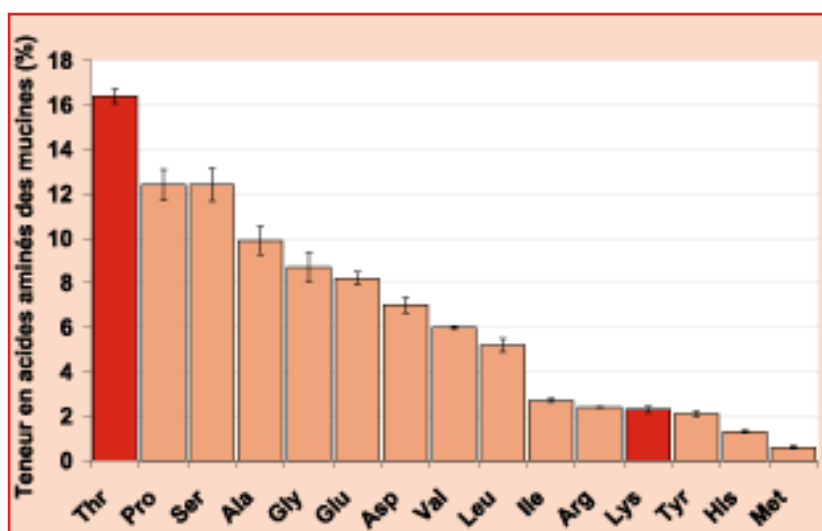
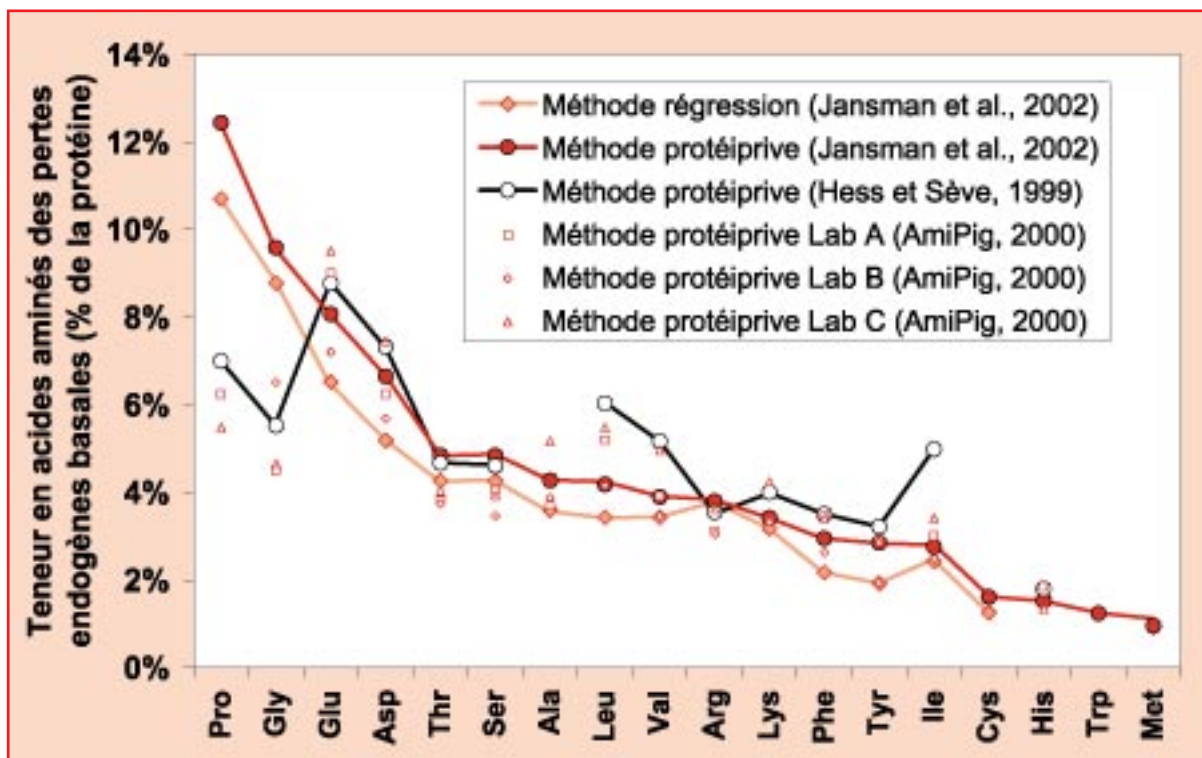


fig. 11 Composition en acides aminés des mucines (Ball, 2002 d'après Lien et al., 1997, en %)



Les mucines sont peu digestibles, c'est pourquoi les acides aminés qui les composent sont faiblement ré-absorbés et se retrouvent donc dans les pertes endogènes collectées à la fin de l'iléon (Hoskins, 1984 ; Jansman *et al.*, 2002). D'après Lien *et al.* (1997), 30% de la thréonine des pertes endogènes provient des mucines. Le ratio Thr:Lys des pertes endogènes atteint 120% (moyennes des données rapportées dans la figure 12) et est donc deux fois plus important que le ratio mesuré au niveau de la carcasse (57%, Mahan et Shields, 1998).

fig. 12 Profil en acides aminés des pertes endogènes basales mesurées par différentes équipes de recherche (Jansman et al., 2002 ; AmiPig, 2000 ; Hess et Sève, 1999)



Ball *et al.* (1999, 2002) et Law *et al.* (2000) se sont interrogés sur la contribution de la synthèse de mucines à la consommation totale de thréonine par l'intestin. Ils ont mesuré le poids de la muqueuse intestinale et la production de mucus chez des porcelets nouveaux-nés de 2 kg recevant soit un régime pourvu en thréonine soit un régime carencé (tableau 9). Ils ont observé chez les porcelets privés de thréonine, une baisse notable de la production de mucines, une altération de la muqueuse (poids de la muqueuse divisée par 2) et un nombre de cas de diarrhées non infectieuses accru. L'apport de thréonine par nutrition parentérale a partiellement restauré les fonctions digestives, sans atteindre le niveau obtenu avec la dose orale de thréonine. Les auteurs concluent qu'un apport adéquat de thréonine alimentaire est indispensable pour un développement correct de l'intestin et une fonction digestive efficace.

tab.9. Effet de la carence en thréonine sur la fonction digestive du porcelet nouveau-né (Ball et al., 1999, 2002 ; Law et al., 2000)

Traitements thréonine			
Niveau	Adéquat	Déficient	Adéquat
Dose de thréonine (g/kg/l)	0.6	0.1	0.6
Voie	Orale	Orale	Intraveineuse
Poids de la muqueuse (g)			
Duodenum	1.100 ^a	0.625 ^b	0.914 ^{ab}
Jejunum proximal	19.37 ^a	11.52 ^b	17.61 ^{ab}
Iléon	6.41	4.53	5.99
Colon	3.59 ^a	1.78 ^b	3.24 ^a
Mucines (µg/2cm intestin)			
Duodenum ¹	59.6	11.0	46.6
Diarrhées			
Score moyen quotidien ²	0.05 ^a	1.63 ^b	0.20 ^b
Nb de porcs avec diarrhée	1/8	6/8	2/8
Nb de jours avec diarrhée	2	35	9
Sévérité moyenne ³	1.50 ^b	2.82 ^a	2.21 ^b

a,b rapportent des différences significatives entre traitements (P<0.05)

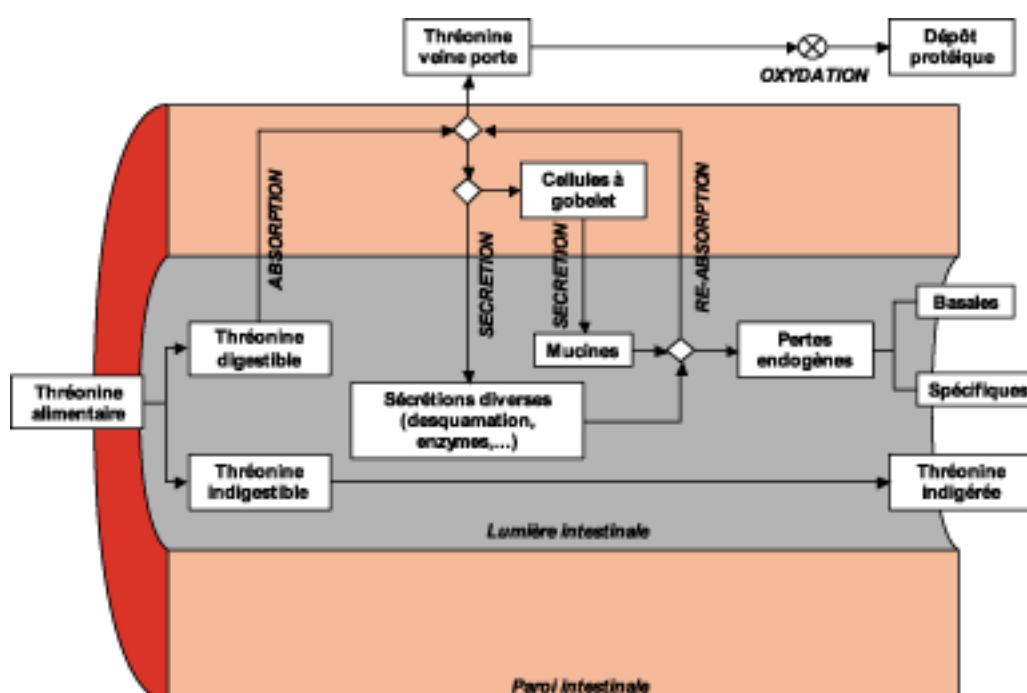
¹ P<0.05

² Score moyen quotidien noté de 0 à 3: somme des scores quotidiens pondérée par le nombre de jours

³ Sévérité moyenne notée de 0 à 3: score moyen quotidien des jours avec diarrhée

Ces études confirment qu'une partie significative de la thréonine alimentaire est consommée par l'intestin lui-même, et qu'elle est utilisée pour la synthèse de sécrétions digestives comme le mucus (figure 13). Apporter un niveau adéquat de thréonine alimentaire revêt donc un intérêt particulier étant donnée l'importance de l'intestin tant pour l'efficacité de la digestion que pour la santé du tube digestif et donc de l'animal.

fig. 13 Représentation schématique du flux de thréonine dans l'intestin.



De nombreuses références mentionnent un accroissement du ratio Thr:Lys optimal avec l'accroissement des dépenses d'entretien, qui évoluent elles-mêmes avec le poids de l'animal (tableau 10). Un ratio Thr:Lys optimal de 65% chez l'animal jeune évoluerait ainsi vers 68%-70% chez le porc en finition.

tab.10. Ratios Thr:Lys recommandés en fonction du poids vif des porcs.

Référence	Gamme de poids vif (kg)	Thr:Lys
Baker (2000)	5 - 20	65
	20 - 50	67
	50 - 110	70
NRC (1998)	3 - 5	65
	5 - 10	64
	10 - 20	64
	20 - 50	64
	50 - 80	68
	80 - 120	68

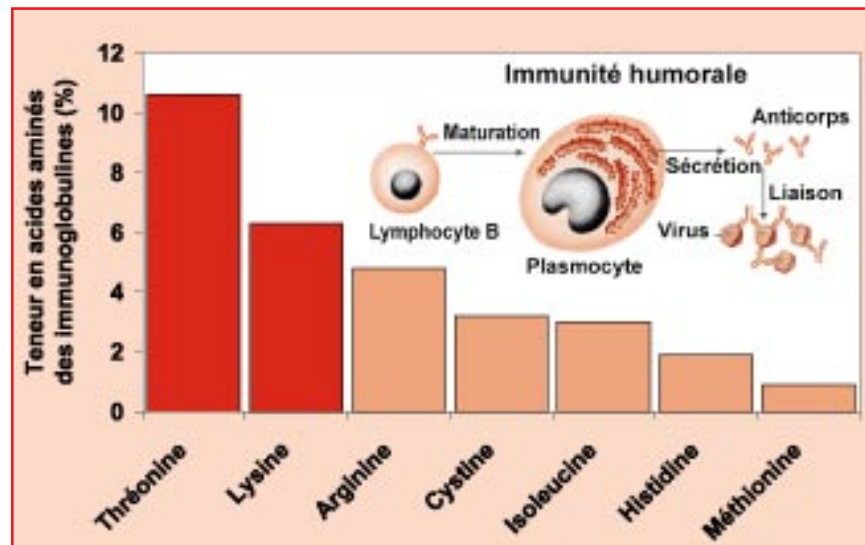
Ces recommandations (NRC, 1998 ; Baker, 2000) sont dérivées du besoin d'entretien déterminé par Fuller *et al.* (1989). Ces derniers avaient estimé le besoin en lysine et en thréonine pour l'entretien à 36 et 53 mg/kg PV^{0.75} respectivement, ce qui donne un ratio Thr:Lys de 147% (à comparer au 57% dans la carcasse de porc, Mahan et Shields, 1998). Ces résultats soulignent l'importance de la thréonine pour l'entretien et relient le besoin en thréonine au poids métabolique de l'animal : plus l'animal est lourd, plus le besoin en thréonine est élevé.

Le niveau élevé du ratio Thr:Lys estimé pour l'entretien par Fuller *et al.* (1989) est cohérent avec la contribution importante de la thréonine aux sécrétions digestives (voir info 2), qui sont l'une des composantes de l'entretien. Toutefois, Moughan (1999) suggère que le ratio Thr:Lys pour l'entretien serait de 73%, soit nettement inférieur à celui estimé par Fuller et son équipe.

D'un point de vue zootechnique, les données porc croissance et porc finition compilées dans la première section de ce bulletin ne permettent pas de mettre en évidence un impact du poids de l'animal sur le niveau du besoin en thréonine, exprimé en ratio. Néanmoins, un tel impact pourrait être dissimulé par des biais inter-essais (tels que le statut sanitaire des animaux, leur potentiel de croissance, la composition des aliments expérimentaux,...) et un protocole d'étude spécifiquement adapté serait plus judicieux. Toujours dans notre mise au point bibliographique, la comparaison des ratios optimaux trouvés chez le porcelet (65% pour des animaux de 10 à 25 kg), chez le porc croissance-finition (65% minimum pour des animaux pesant entre 20 et 120 kg) et chez la truie (70% minimum pour des animaux d'au moins 200 kg) va dans le sens d'un besoin Thr:Lys d'autant plus élevé que l'animal est lourd.

L'immunité humorale implique la sécrétion dans le sang d'immunoglobulines (également appelées anticorps) par les lymphocytes B matures. Après avoir atteint le site de l'infection, les immunoglobulines se lient aux antigènes et les inactivent. Comme les mucines (voir Info 3), les immunoglobulines sont des glycoprotéines qui présentent une teneur élevée en thréonine (figure 14 ; Bowland, 1966 ; Liu et Putnam, 1979 ; Low *et al.*, 1979).

fig. 14 Profil en acides aminés essentiels des immunoglobulines (%) et mode de sécrétion (d'après Bowland, 1966 cité par Han et Lee, 2000).



En raison de la richesse en thréonine des immunoglobulines, certains auteurs ont émis l'hypothèse qu'une carence en thréonine pourrait affecter leur production. Ils ont alors testé l'impact de l'apport de différents niveaux de thréonine alimentaire sur la production d'immunoglobulines.

Cuaron *et al.* (1984) ont montré sur des truies consommant un régime à base de sorgho que si la lysine est bien le premier acide aminé limitant pour la rétention d'azote, la thréonine est probablement le premier acide aminé limitant pour la production d'immunoglobulines G (les IgG étant les immunoglobulines les plus abondantes du plasma, tableau 11).

Les truies recevant un aliment supplémenté en thréonine titraient des niveaux d'IgG supérieurs de 25% à celles recevant l'aliment basal. Une telle hausse n'a pas été observée lors de la supplémentation en lysine des aliments.

Hsu *et al.* (2001) ont également montré un impact de la thréonine alimentaire sur la production d'immunoglobulines. Dans leur étude, les truies recevant un supplément de thréonine durant la gestation ont produit un lait présentant des niveaux d'immunoglobulines plus élevés à la mise-bas (+30%) et 10 jours après (+8%). Toutefois, 20 jours après la mise bas, alors qu'elles consommaient toutes un aliment lactation standard, les truies ayant reçu le supplément de thréonine durant la gestation et leur suite montraient les niveaux d'IgG plasmatique les plus bas (tableau 11). Les auteurs ont conclu que les porcelets ayant reçu davantage d'IgG maternelles voyaient leur production propre réduite, mais les auteurs ne commentent pas la baisse également observée dans le plasma des truies et dans le lactosérum. Il aurait été intéressant de prolonger le traitement thréonine tout au long de la lactation pour vérifier si un tel traitement aurait pu maintenir les niveaux élevés observés lors de la mise-bas et 10 jours après.

tab.11. Impact de la thréonine alimentaire sur les immunoglobulines sanguines de la truie et des porcelets

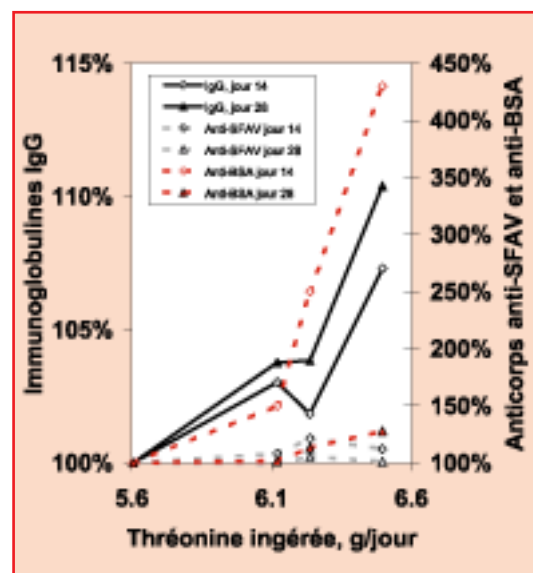
	Cuaron et al., 1984					Hsu et al., 2001				
	Témoin	Régime basal	Basal + Thr	Basal + Lys	Basal + Thr + Lys	Témoin	Régime basal	Basal + Thr		
Ingrédients principaux (%)										
Maïs	-	-	-	-	-	79,4	90,6	90,5		
Sorgho	91,8	92,5	92,5	92,5	92,5	-	-	-		
Tourteau de soja	5,8	-	-	-	-	12,8	1,0	1,1		
Son de blé	-	-	-	-	-	4,5	4,5	4,5		
Protéine et acides aminés (%)										
Matières azotées totales	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	8,0	8,0		
Lys	0,37	0,19	0,19	0,43	0,43	0,54	0,53	0,53		
Thr	0,34	0,22	0,34	0,22	0,34	0,41	0,31	0,45		
Thr:Lys	92%	114%	176%	62%	80%	76%	58%	86%		
Consommation de l'aliment et rétention azotée										
Ingréré (kg/j)	2	2	2	2	2	1,98	1,98	1,98		
Rétention azotée (g/j)	16,72	12,6	13,24	15,76	16,68	P<0,01	-	-		
IgG dans le plasma des truies pendant la gestation (mg/ml)										
Resp. au jour 70 ou 80	17,01	18,70	18,06	17,71	16,97	P<0,03	32,5	32,2	31,3	NS
Resp. au jour 103 ou 110	18,62	18,11	18,46	18,81	18,74	P<0,03	33,9	31,1	31,1	NS
A la mise-bas	18,48	14,27	17,84	14,55	18,09	P<0,03	21,3	17,2	16,9	NS
IgG dans le plasma des truies pendant la lactation (mg/ml)										
Au 7ème jour de lactation	-	-	-	-	-	-	31,6	29,4	29,5	NS
Au 21ème jour de lactation	-	-	-	-	-	-	22,8	25,1	22,9	NS
IgG dans le lactosérum du lait de truie (mg/ml)										
A la mise-bas	51,08	48,48	53,77	53,86	56,43	ns	44,7	34,6	44,6	NS
Au 7ème jour de lactation	-	-	-	-	-	-	1,5	1,2	1,3	P<0,1
Au 21ème jour de lactation	-	-	-	-	-	-	1,1	1,0	0,9	NS
IgG dans le plasma des porcelets (mg/ml)										
A la naissance	12,67	12,28	12,11	13,5	13,32	ns	18,1	18,4	18,5	NS
Au 7ème jour de lactation	-	-	-	-	-	-	17	18,2	18,8	NS
Au 21ème jour de lactation	-	-	-	-	-	-	6,4	9,3	6,9	P<0,28

Li Defa *et al.* (1999) ont étudié l'impact de la thréonine alimentaire (4 ratios Thr:Lys : 64, 75, 83 et 99%) sur des porcs en croissance (17-31 kg) ayant reçu une injection d'albumine sérique bovine (BSA pour Bovine Serum Albumin) ou d'un vaccin atténué de la peste porcine (SFAV pour Swine Fever Attenuated Vaccine). Au jour 7 de l'essai tous les porcs ont reçu l'antigène par injection. Les niveaux d'IgG ainsi que les anticorps spécifiques anti-BSA et anti-SFAV ont été mesurés.

La concentration plasmatique d'IgG était plus élevée avec le niveau haut de thréonine dans l'aliment. De plus, les porc infectés par le virus (SFAV) ont produit davantage d'anticorps spécifiques anti-SFAV (figure 15). Les auteurs expliquent l'absence de réaction similaire chez les animaux ayant reçu de l'albumine bovine (BSA) par le fait que la BSA agit comme un antigène unique, tandis que le virus (SFAV) se réplique dans l'hôte induisant ainsi la synthèse de nombreuses protéines virales antigéniques, à même de stimuler la production massive d'anticorps différents.

Ces articles confirment le rôle de la thréonine dans la réponse immunitaire, la production d'immunoglobulines étant directement limitée par l'apport de thréonine alimentaire. Bien que ce domaine mérite de nouvelles investigations, cette implication de la thréonine dans la fonction immunitaire vient s'ajouter au rôle de la thréonine dans l'équilibre de la fonction digestive (voir info 2) ainsi que dans l'optimisation des performances zootechniques.

fig. 15 Impact de la thréonine alimentaire sur la réponse immunitaire humorale de porcs en croissance (Li Defa *et al.* 1999).



La thréonine est généralement moins digestible que la lysine (plus faible digestibilité réelle et plus forte contribution aux pertes endogènes, voir info 2). C'est la raison pour laquelle le ratio Thr:Lys est plus faible en base digestible qu'en base totale.

■ Quantification de l'écart entre les deux systèmes (acides aminés digestibles vs. totaux)

L'écart dépend des matières premières présentes dans l'aliment, du niveau de lysine digestible et de la quantité d'acides aminés supplémentés. Ainsi par exemple, pour le ratio Thr:Lys : l'écart entre total et digestible est d'autant plus grand que l'aliment est supplémenté en lysine (100% digestible) sans être supplémenté en thréonine.

Il est donc impossible de donner une règle d'équivalence stricte pour passer d'un ratio en base digestible à un ratio en base totale bien qu'on puisse définir des fourchettes de correspondance. Ainsi, un ratio de 65% en base digestible s'élève à 67%-69% lorsque les acides aminés sont exprimés en base totale, quelle que soit la table de digestibilité considérée (AmiPig, 2000 ou CVB, 2001 ; voir tableau 12).

tab.12. Impact de la base matières premières de l'aliment, du système d'évaluation (digestibilité idéale standardisée vs. acides aminés totaux) et de la table de référence (AmiPig, 2000 vs. CVB, 2001) sur le ratio Thr:Lys. Résultats de formulations (la mention d'un intervalle reflète la sensibilité au niveau de supplémentation de l'aliment)

Table Système	Aliments porc croissance				Aliments porc finition			
	AmiPig (2000)		CVB (2001)		AmiPig (2000)		CVB (2001)	
	Digestible	Total	Digestible	Total	Digestible	Total	Digestible	Total
Orge - Blé - Tourteau de soja								
Lys (%)	0.90	0.99-1.00	0.88	0.97-0.98	0.70	0.79	0.68-0.69	0.77-0.78
Thr:Lys	65%	67-68%	66%	67-68%	65%	68-68.5%	66%	67-68%
M+C:Lys	60%	60%	59%	60-61%	60%	61%	59%	61%
Trp:Lys	18%	18%	17%	18.0%	19%	19%	17%	19%
Orge - Blé - Pois - Tourteau de colza - Tourteau de soja								
Lys (%)	0.90	1.02	0.89	1.01-1.02	0.70	0.80-0.81	0.69	0.79-0.80
Thr:Lys	65%	68%	65%	67.5%	65%	68-68.5%	65%	67-68%
M+C:Lys	60%	60%	59%	60-61%	60%	61%	58%	60-61%
Trp:Lys	19%	19%	18%	19.5%	20%	20%	19%	20%
Maïs - Blé - Tourteau de soja								
Lys (%)	0.90	0.99	0.87	0.98-0.99	0.70	0.77	0.68	0.77
Thr:Lys	65%	68-69%	66%	68-69%	65%	69%	66%	69%
M+C:Lys	60%	60-61%	59%	60-61%	60%	61%	59%	61%
Trp:Lys	18%	18%	18%	18-19%	18%	18%	18%	19%

Liste des références

- Adeola, O., B. V. Lawrence, et T. R. Cline. 1994. Availability of amino acids for 10- to 20-kilogram pigs: lysine and threonine in soybean meal. *Journal of Animal Science* 72:2061-2067.
- AmiPig. Digestibilité iléale standardisée des acides aminés des matières premières chez le porc. 2000. Association Française de Zootechnie ; Ajinomoto Eurolysine ; Aventis Animal Nutrition ; INRA ; ITCFARC. 1981. The nutrient requirements of pigs. Commonwealth Agricultural Bureau, Slough U.K.
- Baker, D. H. 2000. Recent advances in use of the ideal protein concept for swine feed formulation. *Asian-Aus. Journal of Animal Science* 13:294-301.
- Ball, R. O. Definition of amino acid requirements in pigs: partitioning between gut and muscle. Amino acids: meat, milk and more! Improving animal production with reproductive physiology [Québec 2002], 17-25. 2002. Comité organisateur du Congrès CSAS 2002.
- Ball, R. O., G. Law, F. P. Bertolo, and P. B. Pencharz. Adequate oral threonine is critical for mucin production and mucosal growth by the neonatal piglet gut. Protein metabolism and nutrition [Book of abstracts of the VIIIth international symposium on protein metabolism and nutrition]. 1999. Abstract.
- Bertolo, R. F. P., C. Z. L. Chen, G. Law, P. B. Pencharz, and R. O. Ball. 1998. Threonine requirement of neonatal piglets receiving total parenteral nutrition is considerably lower than that of piglets receiving an identical diet intragastrically. *Journal of Nutrition* 128:1752-1759.
- Bowland, J. P. 1966. In : L.K. Bustad, R.O. McClellan and M.P. Burns (Ed.) *Swine in biomedical research*, Frayn, USA.
- Boyd, R. D., K. J. Touchette, G. C. Castro, M. E. Johnston, K. U. Lee, and I. K. Han. 2000. Recent advances in amino acid and energy nutrition of prolific sows - Review. *Journal of Animal Science* 13:1638-1652.
- Burrin, D. G., B. Stoll, J. B. van Goudoever, and P. J. Reeds. 2001. Nutrient Requirements for intestinal Growth and Metabolism in the Developing Pig. In: J. E. Lindberg and B. Ogle (Eds.) *Digestive physiology of pigs - Proceedings of the 8th Symposium*. pp. 75-88. CABI Publishing.
- Cadogan, D. J., T. K. Chung, R. G. Campbell, S. Kershaw, and D. Harrison 1998. - Effects of dietary threonine on the growth performance of entire male, female, and castrated male pigs between 6 and 14 kg live weight. *American Society of Animal Science Midwestern Section*, 49. Abstract.
- Chang, W. H., J. H. Lee, K. N. Heo, I. K. Paik, and I. K. Han. 2000. Optimal threonine:lysine ratio for growing pigs of different sexes. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 13:1731-1737.
- Conway, D., W. C. Sauer, L. A. Den Hartog, and J. Huisman. 1990. Studies on the threonine requirements of growing pigs based on the total, ileal and faecal digestible contents. *Livestock Production Science* 25:105-120.
- Cooper, D. R., J. F. Patience, R. T. Zijlstra, and M. Rademacher. 2001. Effect of nutrient intake in lactation on sow performance: Determining the threonine requirement of the high-producing lactating sow. *Journal of Animal Science* 79:2378-2387.
- Cuaron, J. A., R. P. Chapple, and R. A. Easter. 1984. Effect of lysine and threonine supplementation of sorghum gestation diets on nitrogen balance and plasma constituents in first litter gilts. *Journal of Animal Science* 58:631-637.
- CVB. Veevoedertabel 2001. Centraal Veevoederbureau - Postbus 2176 - 8203 AD Lelystad - The Netherlands.
- Dourmad, J. Y. and M. Etienne. 2002. Dietary lysine and threonine requirements of the pregnant sow estimated by nitrogen balance. *Journal of Animal Science* 80:2144-2150.
- Fuller, M. F., R. McWilliam, T. C. Wang, and L. R. Giles. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. *British Journal of Nutrition* 62:225-267.
- Gatel, F. and J. Fékete. 1989. Lysine and Threonine Balance and Requirements for Weaned Piglets 10-25 Kg Liveweight Fed Cereal-Based Diets. *Livestock Production Science* 23:195-206.
- Han, I. K. and J.H. Lee. 2000. The role of synthetic amino acids in monogastric animal production. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 13 : 543-560.
- Henry, Y. 1993. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *INRA Productions Animales* 6:199-212.
- Hess, V. and B. Sève. 1999. Effects of body weight and feed intake level on basal ileal endogenous losses in growing pigs. *Journal of Animal Science* 77:3281-3288.
- Hoskins, L. C. 1984. Mucin degradation by enteric bacteria: ecological aspects and implications for bacterial attachment to gut mucosa. In: Boedeker EC (Ed.) *Attachment of organisms of the gut mucosa*. pp. 51-67. CRC Press.

- Hsu, C. B., S. P. Cheng, J. C. Hsu, and H. T. Yen. 2001. Effect of threonine addition to a low protein diet on IgG levels in body fluid of first-litter sows and their piglets. *Asian-Aus. Journal of Animal Science* 14:1157-1163.
- Jansman, A. J. M., W. Smink, P. Van Leeuwen, and M. Rademacher. 2002. Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Animal Feed Science & Technology* 98:49-60.
- Kim, S. W., D. H. Baker, and R. A. Easter. 2001. Dynamic ideal protein and limiting amino acids for lactating sows : the impact of amino acid mobilization. *Journal of Animal Science* 79:2356-2366.
- Law, G., Alfred, Adjiri-Awere, P. B. Pencharz, and R. O. Ball. Gut : Mucins in Piglets are dependant upon dietary threonine. *Advances in Pork Production* 11[10]. 2000. Abstract.
- Lenis, N., H. T. M. Van Diepen, and P. W. Goedhart. 1990. Amino acid requirement of pigs 1. Requirements for methionine + cystine, threonine and tryptophan of fast-growing boars and gilts, fed ad libitum. *Neth. Journal of Agricultural Science* 38:577-595.
- Lenis, N. P. and J. TH. M. Van Diepen. 1990. Amino acid requirements of pigs. 3. Requirement for apparent digestible threonine of pigs in different stages of growth. *Neth. Journal of Agricultural Science* 38:609-622.
- Lewis, A. J. and E. R. Peo, Jr. 1986. Threonine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg. *Journal of Animal Science* 62:1617-1623.
- Li, D., X. H. Zhao, T. B. Yang, E. W. Johnson, and P. A. Thacker. 1999. A comparison of the intestinal absorption of amino acids in piglets when provided in free form as a dipeptide. *Asian-Aus. Journal of Animal Science* 12:939-943.
- Lien, K. A., W. C. Sauer, and M. Fenton. 1997. Mucin output in ileal digesta of pigs fed a protein-free diet. *Z. Ernährungswiss.* 36:190.
- Liu, Y.-S. V. and F. W. Putnam. 1979. Primary Structure of a Human IgA1 Immunoglobulin. I. Isolation, composition and amino acid sequence of the chymotryptic peptides. *The Journal of Biological Chemistry* 254:2839-2849.
- Low, T. L. K., Y.-S. V. Liu, and F. W. Putnam. 1979. Primary Structure of a Human IgA1 Immunoglobulin. II. Isolation, composition and amino acid sequence of the tryptic peptides of the whole alpha1 chain and its cyanogen bromide fragments. *The Journal of Biological Chemistry* 254:2850-2858.
- Lynch, B. 2000. Response of heavy growing pigs to threonine : lysine ratio in the diet. 1-26.
- Mahan, D. C. and J. Shields. 1998. Essential and non-essential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *Journal of Animal Science* 76:513-521.
- Moughan, P. J. 1999. Protein metabolism in the growing pig. In: I. KYRIAZAKIS (Ed.) *A quantitative biology of the pig*. pp. 299-331. CABI Publishing.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirement of Swine* (tenth edition). National. Academy. Press, Washington, DC.
- Paulicks, B. R., C. Westermeier, and M. Kirchgessner. 1998. Milchmenge und Milchhaltsstoffe bei Sauen in Abhängigkeit von der Threoninversorgung. 2. Mitteilung zum Threoninbedarf laktierender Sauen. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 79:102-111.
- Renaudeau, D., J. Noblet, N. Quiniou, and S. Dubois. 2001. Influence de l'exposition au chaud et de la réduction du taux de protéines dans l'aliment sur les performances des truies multipares en lactation. *JRP* 2001 33, 1-9. Abstract.
- Saldana, C. I., D. A. Knabe, K. Q. Owen, K. G. Burgoon, and E. J. Gregg. 1994. Digestible threonine requirements of starter and finisher pigs. *Journal of Animal Science* 72:144-150.
- Schutte, J. B., J. de Jong, and D. J. Langhout. 1995. Threonine requirement of pigs in the live weight ranges of 10-20 and 20-40 kg. ILOB report No. I 95-3936, The Netherlands, 1-18.
- Schutte, J. B., J. de Jong, W. Smink, and F. Koch. 1997. Threonine requirement of growing pigs (50 to 95 Kg) in relation to diet composition. *Animal Science* 64:155-161.
- Sève, B., P. Ganier, and Y. Henry. 1993. Courbe de réponse des performances de croissance du porc à l'apport de thréonine digestible vraie mesurée au niveau iléal. *JRP* 25:255-262.
- Stoll, B., J. Henry, P. J. Reeds, H. Yu, F. Jahoor, and D. G. Burrin. 1998. Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. *Journal of Nutrition* 128:606-614.
- Taylor, A. J., D. J. A. Cole, and D. Lewis. 1982. Amino acid requirements of growing pigs. 3. Threonine. *Animal Production* 34:1-8.
- Usry, J. L. 1999. FCR is minimized at a Threonine:Lysine ratio of 64% for 25-50 lb pigs fed a corn/soybean meal diet. *Swine Research Report* 32.
- Usry, J. L. 2000. Threonine:Lysine ratio for optimal performance of late finishing sows. *Swine Research Report* 36.
- Westermeier, C., B. R. Paulicks, and M. Kirchgessner. 1998. Futteraufnahme und Lebendmasseentwicklung von Sauen und Ferkeln während der Laktation in Abhängigkeit von der Threoninversorgung der Sau 1. Mitteilung zum Threoninbedarf laktierender Sauen. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 79:33-45.

Le Bellego L., Relandeau C., Van Cauwenberghe S., Septembre 2002

AJINOMOTO

AJINOMOTO ANIMAL NUTRITION

AJINOMOTO EUROLYSINE

153, rue de Courcelles, 75817 Paris, Cedex 17
Tel. (33) 01 44 40 12 12 - Fax (33) 01 44 40 12 13