

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE *

QUELQUES ASPECTS NOUVEAUX DU MÉTABOLISME DE L'AZOTE CHEZ LE PORC ET LEURS CONSÉQUENCES POUR LA SATISFACTION DE SES BESOINS EN PROTÉINES

G. FAUCONNEAU et R. PION

*Station d'Études des Métabolismes,
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I. N. R. A.,
62 - Saint-Genès-Champagnelle*

RÉSUMÉ

Nous avons passé en revue différents facteurs de la nutrition azotée du porc en croissance.

Croissance et besoins en protéines et en acides aminés (tabl. 1-6)

Le corps du porcelet nouveau-né contient seulement 11 p. 100 de protéines et 6 p. 100 de lipides. Ces teneurs sont respectivement de 15 p. 100 et de 16 p. 100 après deux semaines. La synthèse protéique nette journalière augmente régulièrement, pour atteindre 100-125 g chez des porcs de 30 à 35 kg ; elle reste ensuite constante chez les porcs plus âgés, alors que la synthèse de lipides continue à augmenter, et cela d'autant plus que le niveau d'alimentation est plus élevé. La synthèse des protéines n'est pas diminuée par une restriction calorique n'excédant pas 15 à 20 p. 100 du besoin. Le rapport protéines fixées/énergie métabolisable reste constant jusqu'à un poids vif de 35 à 40 kg, puis diminue régulièrement lorsque l'animal poursuit sa croissance. Le rapport protéines/énergie métabolisable (ou protéines/énergie digestible) de la ration doit donc être constant dans la première phase, puis diminuer régulièrement avec l'âge de l'animal dans la deuxième.

Les besoins ne varient pas dans les mêmes proportions pour tous les acides aminés indispensables au cours de la croissance. Le besoin journalier de lysine augmente rapidement jusqu'à 40 kg de poids vif, puis plus lentement ensuite. L'augmentation ne correspond plus dans la deuxième période qu'à une augmentation du besoin d'entretien. Au contraire, le besoin en méthionine augmente plus avec l'âge que la moyenne des besoins en acides aminés (tabl. 6).

* Rapport présenté aux commissions de la Fédération Européenne de Zootechnie, Helsinki, juin 1969.

Acides aminés libres du sang et nutrition protéique (tabl. 7, 8, 9)

Les acides aminés libres du sang constituent la principale forme de transport des produits de la digestion des protéines alimentaires vers les tissus qui les utiliseront à des synthèses protéiques. Leurs teneurs sont à chaque instant le résultat d'un équilibre entre les apports provenant du tube digestif, ou du catabolisme de protéines et les quantités utilisées par les tissus. C'est pourquoi des chercheurs ont essayé de relier les teneurs en acides aminés libres du sang de porc, à ses besoins en acides aminés et à la composition en acides aminés des aliments ingérés. Les valeurs moyennes obtenues dans différentes études sont généralement en accord, au moins en ce qui concerne les acides aminés indispensables (tabl. 7). Il y a une interrelation entre les teneurs des différents acides aminés, mais les teneurs en acides aminés indispensables sont généralement en rapport avec la composition en acides aminés de la ration.

Acides aminés libres du sang et digestion

Les concentrations des différents acides aminés dans le sang porte dépendent de la cinétique de leurs apports par le tube digestif. Aussi avons-nous étudié les variations des teneurs en acides aminés libres du sang porte au cours de la digestion de divers aliments : farine de hareng, orge, tourteau d'arachide, aliment sans azote, blé et tournesol supplémentés ou non en lysine. Les augmentations des teneurs en acides aminés indispensables sont très élevées dans le cas de la farine de poisson et très faibles dans celui de l'orge. Elles sont importantes au cours de la digestion de l'arachide, sauf pour la lysine et la thréonine qui constituent les facteurs limitants de cet aliment protéique. La lysine ingérée sous forme libre semble être absorbée en même temps que celle qui provient de la digestion des protéines du blé ou du tournesol (tabl. 10, 11 ; fig. 1). Comme les variations de teneurs observées au cours de la digestion sont très importantes, leur détermination peut être très utile pour l'étude de la supplémentation protéine-acide aminé, et de la disponibilité de certains acides aminés.

Valeur nutritive des protéines

Les proportions des différents acides aminés des protéines alimentaires correspondent plus ou moins bien aux besoins des animaux (tabl. 12). Les compositions des différents aliments peuvent facilement être comparées entre elles, et aux besoins des animaux, en exprimant les teneurs des différents acides aminés indispensables et semi-indispensables en p. 100 de leur somme. La réalisation de rations équilibrées est facilitée par l'amélioration de la composition de certaines protéines (maïs), et par l'utilisation d'acides aminés (DL-méthionine, L-lysine) et de protéines industrielles (levures, algues). Mais la disponibilité de certains acides aminés peut être diminuée au cours de la fabrication ou du stockage, et il est de plus en plus nécessaire de disposer d'une méthode précise de mesure de cette disponibilité.

INTRODUCTION

L'intensification de l'élevage du porc se traduit par certaines modifications des méthodes d'élevage traditionnelles. L'accroissement du nombre de portées produites chaque année par les truies nécessite le sevrage précoce des porcelets alors que la nutrition des truies pose moins de problèmes ; en effet, pendant la gestation, le rendement de l'énergie et de l'azote est excellent car l'anabolisme est favorisé par le complexe hormonal de gestation tandis que, pendant la lactation raccourcie, l'extériorisation des potentialités génétiques laitières est favorisée par l'utilisation des réserves mobilisables (protéines et lipides) de la mère, (SALMON-LEGAGNEUR, 1965 ; LODGE, 1962). La nutrition azotée et énergétique des jeunes porcs dont la phase de synthèse protéique est importante et mal connue est donc un problème particulièrement important qui doit être étudié à la fois par des physiologistes, des nutritionnistes et des généticiens.

Nous examinerons successivement divers aspects de la nutrition azotée en rapport avec ce problème : les besoins en acides aminés indispensables et leur déterminisme, la composition en

acides aminés libres du sang en relation avec l'état de nutrition azotée des animaux, et la valeur nutritive des protéines dont la composition en acides aminés indispensables est à peu près connue actuellement. Nous laisserons de côté le problème de l'appétit très important à cette période de la vie de l'animal et dont le contrôle permettrait d'utiliser plus rationnellement les nourrisseurs automatiques.

COMPOSITION DU PORC AU COURS DE LA CROISSANCE (tabl. I et 2)

A sa naissance le porcelet contient 11 p. 100 de protéines et 1,4 p. 100 de lipides. Après la naissance, la synthèse des lipides est rapidement importante et dépasse légèrement celle des protéines (en poids). Vers 4 à 5 kg (2 semaines), la teneur du porcelet en protéines atteint 15 p. 100 et sa teneur en lipides 16 p. 100 (MANNERS et McCREA, 1963 ; BERGE et INDREBØ, 1954 ; ESLEY, 1963). La crise des 3 semaines se traduit par une diminution de la consommation d'aliments ce qui entraîne un certain amaigrissement : les tissus synthétisés sont plus pauvres en lipides (13 p. 100 au lieu de 20 p. 100). La composition du croît reste ensuite constante jusqu'à 35-40 kg : 15 à 17 p. 100 de protéines, 15 à 20 p. 100 de lipides. A la naissance, les protéines du tissu musculaire ne correspondent qu'à 10 p. 100 de celui-ci ; elles augmentent ensuite progressivement, atteignant 16 p. 100 à 3 semaines (5,7 kg) et 19-20 p. 100 à 8 semaines (20 kg), (DURAND *et al.*, 1967 b).

TABLEAU I

*Composition des porcelets au cours de la croissance,
comparaison avec les éléments ingérés*

Réf.	Age (semaines)	Poids (kg)	ED (kcal)	Croissance (g/j)	Protéines fixées (g/j)	Protéines fixées (kcal/j)	Lipides fixés (kcal/j)	Protéines (kcal% kcal déposées)	Protéines fixées (kcal % ED)
2	2	3,4	1 115	222	32	182	440	29,0	16,4
1	2	3,7		225	32,2	183,5	447	29,0	
1	3	4,75		166	22,6	129	209	38,1	
2	3	5,0	1 255	240	36,4	208	500	29,4	16,6
1	5	6,80		181	26,9	153	336	31,2	
2	4	6,75	1 430	258	38,8	222	550	28,7	15,5
2	5	8,7	1 660	281	42,0	240	600	28,6	14,5
1	7	10,4		360	50,6	288	552	34,2	
2	6	10,8	1 930	326	49,0	280	700	28,6	14,5
2	7	13,4	2 315	408	61,2	350	800	30,4	15,1
1	8	14,4		482	67,5	385	723	34,7	
2	8	16,1	2 750	385	61,2	350	800	30,4	13,0
1	9	16,8		353	55,5	316	515	38,0	
1	10	18,8		286	46,9	267	412	39,3	
2	8	20,4	4 000	521	78	440	1 100	28,5	11

1. BERGE, INDREBØ, (1954).

2. LUCAS, (1962).

TABLEAU 2

Composition du porc au cours de la croissance,
comparaison avec les éléments ingérés

Exp.	Poids (kg)	Énergie métabol.	Protéines fixées (g/j)	Protéines fixées (kcal/j)	Lipides fixés (kcal/j)	Protéines % kcal déposées	Protéines fixées (kcal % E M)
1	24	2 663	(72)	(410)	(— 17)	(100)	15,4
2	20-30	—	115	655	—	—	—
1	29	3 377	89	508	326	61	15,0
2	30-40	3 400	109	536	1 128	32,2	15,8
1	36	4 017	101	577	738	44	14,4
1	44	4 878	107	611	1 105	36	12,5
2	40-50	4 500	103	599	1 780	25,2	13,3
1	52	5 875	120	685	1 825	27	11,6
2	50-60	5 600	110	622	2 481	20,0	11,1
1	61	6 803	125	713	2 418	23	10,5
2	60-70	6 600	117	641	3 127	17,0	9,7
1	72	7 736	127	725	2 951	20	9,4
2	70-80	7 700	112	635	3 780	14,4	8,2
1	83	8 662	126	722	3 536	17	8,3
2	80-90	8 100	111	611	3 631	14,4	7,5
2	90-100	8 400	105	580	3 604	13,9	6,9
2	100-110	8 900	104	534	3 861	12,2	6,0
2	110-120	9 250	105	568	3 871	12,8	6,1

Exp. 1. THORBEC (1968) gain moyen 636 g/j pour porcs de 24 à 83 kg.

Exp. 2. OSLAGE, FLIEGEL (1964) gains moyen 735 g/j pour porcs de 25 à 110 kg.

Le sevrage classique vers 16-20 kg provoque temporairement une synthèse des lipides plus faible, cependant que la synthèse des protéines continue régulièrement d'augmenter jusqu'à 30-35 kg, où elle atteint 100 à 125 g par jour chez le *Large White*, le porc *Danois*, le *Landrace* allemand et le *Pietrain*, (THORBEC, 1968; OSLAGE et FLIEGEL, 1964; FARRIES *et al.*, 1968). La synthèse des protéines reste constante de 30 à 80 kg tandis que la synthèse des lipides augmente régulièrement après 35-40 kg, d'autant plus que le niveau d'alimentation est plus élevé. La matière fraîche du croît contient 37 p. 100 de lipides à 35 kg, 47 p. 100 à 70-80 kg et 50 p. 100 à 90-100 kg (THORBEC, 1968; OSLAGE et FLIEGEL, 1964).

L'augmentation du niveau d'alimentation du porcelet (vers 10 kg) conduit à plus accélérer la lipogenèse (20-21 p. 100 contre 15-16 p. 100) que la protéinogenèse et accroît la vitesse de croissance si l'apport azoté est suffisant (BOAZ et ELSZEY, 1962). Chez le porc plus âgé, (après 30 kg) recevant un apport azoté suffisant, la quantité de protéines fixées (100 à 125 g/j) est indépendante de la vitesse de croissance qui dépend du niveau d'alimentation, et la lipogenèse est proportionnelle à ce dernier. Lorsque l'apport des autres éléments de la ration : acides aminés indispensables, vitamines et minéraux est suffisant, la restriction énergétique provoque une croissance ralentie et un enrichissement des tissus en protéines (HENK et LAUBE, 1967). La quantité de protéines fixées par jour reste à peu près constante si la carence énergétique n'est pas trop poussée (75-80 p. 100 des normes). La rétention azotée quotidienne du porc de 30 à 90 kg semble dépendre essentiellement des facteurs génétiques (HENK et LAUBE, 1967).

TABLEAU 3
Composition corporelle en acides aminés du Porc et du Rat

Age ou poids	En g/16 g N										En % de la somme des ac. aminés indispensables et semi-indispensables					
	Porc					Rat					Porc			Rat		
	Muscle		Carcasse	Corps entier	Rat	Muscle		Carcasse	Corps entier	Rat	Muscle		Carcasse	Corps entier	Rat	
	90 kg	42 j				273 j	90 kg				42 j	273 j				
Thréonine	5,1	4,8	4,4	3,8	4,35	4,1	3,8	4,35	4,1	8,7	9,3	7,6	7,75	8,35		
Valine	6,2	5,6	7,1	6,0	6,0	5,4	6,0	6,0	5,4	10,6	10,85	12,25	12,25	10,35		
Isoleucine	5,7	13,0	14,6	3,85	11,8	4,1	3,85	4,1	4,1	9,75	25,2	25,25	7,85	8,35		
Leucine	9,0			7,15		7,4	7,4		15,35	14,6			15,05			
Phénylalanine ..	4,6	4,6	6,5	3,8	4,2	4,1	3,8	4,2	4,1	7,85	8,95	11,2	7,7	8,35		
Tyrosine	3,95	2,7	2,6	2,6	2,7	3,4	2,6	2,7	3,4	6,75	5,25	4,5	5,3	6,9		
Méthionine	3,0	2,8	3,3	1,8	2,55	2,1	1,8	2,55	2,1	5,1	5,45	5,7	3,6	4,25		
Cystine	1,4	—	—	1,0	—	2,3	1,0	—	2,3	2,4	—	—	2,05	4,65		
Lysine	10,0	7,6	7,7	8,55	7,2	7,45	8,55	7,2	7,45	17,05	14,75	13,25	17,45	15,15		
Histidine	2,7	3,3	2,8	2,65	3,05	4,1	2,65	3,05	4,1	4,6	6,4	4,8	5,4	6,05		
Arginine	6,9	5,8	7,8	7,1	7,25	7,05	7,1	7,25	7,05	11,8	11,25	13,45	14,55	14,3		
Tryptophane ...	—	1,3	1,2	0,75	1,3	—	0,75	1,3	—	—	2,5	2,05	1,5	—		
Somme AAI ...	58,55	51,5	58,0	49,0	50,4	49,2	49,0	50,4	49,2	1	2	2	3	1		
Auteurs	1	2		3	2	1	3	2	1	1	2	2	3	1		

1. PRION (1965).
2. GRUHN (1965).
3. WILLIAMS *et al.* (1964).

En outre, une croissance rapide obtenue grâce à un niveau d'alimentation élevé chez le porcelet (vers 15 kg) n'a pas de conséquences économiques intéressantes sur la croissance ultérieure, l'indice de consommation et les qualités de la carcasse (à 90 kg) (ELSLEY, 1963).

L'étude plus fine de la croissance de divers tissus du porc analysant le rôle respectif de l'hyperplasie et de l'hypertrophie au cours de celle-ci, a été effectuée par STRUNZ et LENKEIT (1963), par DURAND *et al.* (1967 a). L'hyperplasie est le principal facteur de développement du tissu musculaire jusqu'à 70 kg (puberté?), puis l'hypertrophie devient prépondérante. Au cours de la croissance, la carence énergétique ralentit plus la multiplication nucléaire que la synthèse protéique (DURAND et PENOT, 1970), mais diminue cependant le rapport $\frac{\text{RNA}}{\text{DNA}}$.

La restriction azotée provoque un effondrement du rapport $\frac{\text{DNA}}{\text{RNA}}$, mais l'augmentation du DNA se poursuit à une vitesse variable suivant les tissus : la multiplication est peu freinée dans le cœur cependant que dans les autres tissus musculaires la diminution de synthèse du DNA est du même ordre de grandeur que celle de la synthèse protéique (STRUNZ et LENKEIT, 1963).

La composition en acides aminés indispensables de l'ensemble des protéines corporelles du Porc paraît voisine de celle du Rat (GRUHN, 1965; WILLIAMS *et al.*, 1964) (tabl. 3); la composition du muscle de porc est très voisine de celle des muscles de veau et de bœuf (PION et FAUCONNEAU, 1968).

CONSÉQUENCES SUR LES BESOINS AZOTÉS

Le rapport $\frac{\text{énergie métabolisable}}{\text{protéines fixées}}$ est constant chez le porc de 5 à 30-35 kg (15-16 p. 100) puis diminue ensuite régulièrement jusqu'à 120 kg (tabl. 1 et 2) (OSLAGE et FLIEGEL, 1964; HORNICKE, 1961). Cette évolution caractéristique de la protéinogenèse chez le porc a diverses conséquences nutritionnelles : de 5 à 30 kg, la concentration des acides aminés indispensables pour la croissance doit rester sensiblement constante dans l'énergie de la ration exprimée en énergie digestible (ED) ou en énergie métabolisable (EM = ED \times (0,93 \pm 0,02) par kg; cet énergie métabolisable est très élevée (4 500 kcal/kg de MS), car le porcelet consomme des rations riches en lipides.

Entre 30 et 90 kg, le rapport $\frac{\text{énergie métabolisable}}{\text{protéines fixées}}$ diminue de 15 à 8 p. 100 : les acides aminés indispensables apportés par la ration, et nécessaires chaque jour à la protéinogenèse qui est constante, sont de plus dilués dans l'énergie nécessaire à la lipogénèse et à l'entretien. Une ration comportant 200 g de protéines bien équilibrées en acides aminés indispensables permet la fixation dans l'organisme de 60 p. 100 de l'azote digéré (FARRIES *et al.*, 1968; THORBEC, 1968). Ces 200 g doivent être contenus respectivement dans 1,2 et 3 kg de ration contenant 3 000 kcal d'énergie digestible par kg de MS pour des porcs de 25, 45 et 80 kg (A. R. C. 1967). Il faut ajouter au besoin de croissance une certaine quantité de protéines nécessaires à l'entretien (3 p. 100 de la ration). L'alimentation séparée en protéines d'une part, et en glucides-lipides d'autre part, (apportant l'énergie), serait intéressante pendant cette phase de croissance-engraissement (HENRY, 1968), car l'alimentation *ad libitum* entraîne un gaspillage d'énergie très important chez les porcs dont le poids dépasse 35 kg. En effet, l'animal a du mal à ajuster simultanément à ses besoins les apports de calories et d'acides aminés indispensables. La diminution des ingesta, liée à l'augmentation de la concentration énergétique de la ration que RÉRAT et LOUGNON (1966) ont trouvée n'est pas confirmée par CLAWSON (1967) dans le cas où les protéines de la ration sont bien équilibrées.

En résumé, si de 5 à 30 kg, les acides aminés indispensables doivent être apportés proportionnellement à l'énergie métabolisable, en revanche, l'apport d'acides aminés indispensables doit être relativement constant, après 33 kg, et n'est accru que par l'augmentation du besoin d'entretien.

TABLEAU 4

Besoins en acides aminés indispensables et semi-indispensables pour le porc
p. 100 de la ration

AAI et SI	Entretien	Gestation	États physiologiques						Engraisse- ment	
			Croissance							
			10 kg	9-20 kg	20-50 kg	5-10 kg	20-35 kg	Alimentation <i>ad. lib.</i> <i>restr.</i>		
Thréonine	0,09	0,34	0,60	0,5	0,5-0,6	0,70	0,45	0,47	0,58	0,27
Valine	0,05	0,46	0,55	0,5	—	0,65	0,50	0,46	0,57	0,28
Isoleucine	0,07	0,37	0,67	0,7	0,75	0,76	0,50	0,53	0,67	0,35
Leucine	—	0,56	0,80	0,7	—	0,90	0,60	0,7	0,86	0,4
Phénylalanine	0,05	0,30	0,79	0,5	—	—	0,50	0,39	0,48	0,27
Tyrosine	0,06	0,19	0,74	0,7	0,6-0,7	0,80	0,50	0,49	0,62	0,1
Méthionine	0,09	0,09	—	—	—	—	—	—	—	0,18
Cystine	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,12
Lysine	0,06	0,42	0,90	0,1	0,9-0,95	1,20	0,70	0,67	0,84	0,4
Histidine	—	0,17	0,28	0,2	0,2	0,27	0,18	0,21	0,26	0,14
Arginine	—	0,38	0,37	0,2*	0,2*	—	0,20	0,2*	0,2*	0,15
Tryptophane	0,012	0,07	0,15	0,15	0,15	0,18	0,13	0,15	0,19	0,07
Somme AAI	0,39	3,35	5,85	5,25	—	—	4,26	4,07	5,07	2,73
N × 6,25 % ration ..	3,2	12	10,5	20	18,5-20	—	—	—	—	—
Auteurs	1	2	3	4	5	6	7	—	—	—

1. BAKER *et al.* (1966 *b et c*).
 2. RIPPEL (1967).
 3. MITCHELL *et al.* (1964-1968).
 4. A. R. C. (1967).
 5. N. R. C. (1968).
 6. RÉRAT, LOUGNON (1966).
 7. BECKER *et al.* (1963).
 * N. R. C.

BESOINS EN ACIDES AMINÉS INDISPENSABLES

Les besoins azotés ont fait l'objet de nombreuses mises au point récentes (RÉRAT et LOUGNON, 1966; A. R. C., 1967; HOMB et MATRE, 1967; N. R. C., 1968). Le besoin azoté du porc et des autres espèces, correspond au besoin d'une dizaine de L-acides aminés indispensables qui doivent être apportés dans les rations en proportion équilibrée et en rapport avec l'énergie métabolisable de celles-ci. Les études ont généralement été réalisées avec des rations mixtes dont on ne connaît ni la disponibilité des acides aminés, ni l'efficacité de la supplémentation; ces rations ont rarement fait appel, sauf dans le cas de la méthionine, à l'utilisation d'acides aminés indispensables libres, contrairement à ce qui a été réalisé dans le cas du Rat et de la Volaille. Toutefois MITCHELL *et al.* (1964-1969) ont effectué quelques déterminations des besoins en acides aminés indispensables du porcelet (8-15 kg); ils ont étudié particulièrement l'isoleucine, la thréonine, la valine, le tryptophane et les acides aminés soufrés.

TABLEAU 5

Besoins en acides aminés indispensables et semi-indispensables du porc
(en p. 100 de leur somme)

	Entretien	Gestation	Croissance					Engrais- sement	Besoins du Rat en croissance
			10 kg	9-20 kg	20-35 kg	Alimentation			
						<i>Ad lib.</i>	Restr.		
Thréonine	22,5	10,1	10,25	9,5	10,55	11,0	11,0	9,9	9,15
Valine	12,5	13,7	9,4	9,5	11,75	10,75	10,8	10,25	10,1
Isoleucine	17,5	11,0	11,5	13,3	11,75	12,4	12,7	12,3	10,1
Leucine	—	16,7	13,7	13,3	14,1	18,4	16,3	14,65	13,4
Phénylalanine	12,5	8,9	13,5	9,5	11,75	9,1	9,1	9,9	13,95
Tyrosine	—	—	—	—	—	—	—	3,65	—
Méthionine . . .	15,0	5,7	12,65	13,3	11,75	11,45	11,75	6,6	11,0
Cystine	—	2,7	—	—	—	—	—	4,4	—
Lysine	15,0	12,5	15,4	20,9	16,4	15,7	15,9	14,65	17,4
Histidine	—	5,1	4,8	3,8	4,25	4,9	4,9	5,1	4,6
Arginine	—	11,3	6,3	3,8	4,7	4,7*	3,8*	5,5	7,5
Tryptophane . .	3,0	2,1	2,55	2,85	3,05	3,5	3,6	2,55	2,75
Auteurs	1	2	3	4	5	6		7	8

1. BAKER *et al.* (1966 *b et c*).
 2. RIPPEL (1967).
 3. MITCHELL *et al.* (1964-1968).
 4. A. R. C. (1967).
 5. N. R. C. (1968).
 6. RERAT, LOUGNON (1966).
 7. BECKER *et al.* (1963).
 8. RANHOTRA, JOHNSON (1965.)
- * N. R. C.

Les besoins de chaque acide aminé indispensable exprimés en p. 100 de leur somme (PION, de BELSUNCE et FAUCONNEAU, 1963) (tabl. 5) peuvent être comparés aux besoins préconisés par les différents auteurs dans les divers états physiologiques des animaux. Ce mode d'expression permet, en outre, de faire relativement abstraction du rapport : $\frac{\text{acides aminés indispensables}}{\text{énergie métabolisable}}$ et d'analyser avec précision l'aptitude des aliments à couvrir les besoins du point de vue de l'équilibre des acides aminés indispensables. La comparaison des recommandations proposées par les divers auteurs fait apparaître des divergences plus faibles qu'autrefois (FAUCONNEAU, 1966). Cette évolution est nette dans le cas de la leucine et de l'isoleucine. Les besoins en ces acides aminés paraissent plus importants chez le porc de 20 à 50 kg que chez le porcelet de 10 kg, et que chez les autres espèces : 16 p. 100 contre 13,4 p. 100 pour la leucine, 14 p. 100 contre 12 p. 100 pour l'isoleucine (RÉRAT et LOUGNON, 1966). Ce fait était vraisemblablement lié à l'utilisation de rations à base de maïs pour la détermination des besoins des porcs de 20 à 50 kg. Or, les protéines du maïs ont une teneur en leucine très élevée, ce qui peut entraîner à la fois une surestimation du besoin en leucine, et une augmentation du besoin en isoleucine (SPOLTER et HARPER, 1961). Les résultats récents d'expériences effectuées avec des rations mixtes ne font plus apparaître cette originalité du Porc ; les besoins en acides aminés indispensables pour la croissance de cette espèce (exprimés en p. 100 de leur somme) seraient voisins de ceux du Rat.

INFLUENCE DE L'ÂGE

Les besoins en la plupart des acides aminés indispensables diminuent régulièrement avec l'âge ; seul le besoin en méthionine ne diminue que lentement chez les porcs de plus de 60 kg, (NAVRATIL et SIMENECK, 1963 ; WIESEMÜLLER et POPPE, 1968).

Le besoin en lysine du porcelet (5-15 kg), déterminé par ANDERSON et BOWLAND (1967) paraît plus élevé (1,18 p. 100 de la matière sèche de la ration) que celui des animaux plus âgés. En fait, la ration utilisée contenait 22 p. 100 de protéines et 4 000 kcal d'énergie digestible par kg de matière sèche, et le besoin ainsi déterminé correspond à 0,90 p. 100 d'une ration à 3 050 kcal d'ED/kg de MS ; FENDER (1968) a d'ailleurs trouvé pour des porcs de 20 à 40 kg un besoin en lysine de 1,18 p. 100 pour une ration contenant 4 000 kcal d'énergie digestible par kg. Le besoin en lysine, rapportée à la matière sèche de la ration, des très jeunes porcelets n'est donc plus élevé que dans le cas où ils reçoivent une ration très riche en lipides.

La proportionnalité entre les acides aminés indispensables et l'énergie de la ration paraît s'imposer pour l'alimentation azotée des porcs jusqu'à 40 kg. En revanche, chez les porcs plus âgés (40-80 kg), le besoin en acides aminés indispensables n'est plus proportionnel à la concentration énergétique de la ration ; c'est ainsi que RÉRAT et HENRY (1969) trouvent un besoin de 0,52 p. 100 de méthionine pour des femelles recevant un régime contenant 3 450 kcal d'ED/kg au lieu de 0,5 p. 100 trouvés par la plupart des auteurs pour des régimes comportant 3 000 kcal d'ED/kg.

Les résultats de WIESEMÜLLER et POPPE (1968) obtenus avec des rations mixtes et variées montrent que le besoin quotidien en lysine augmente rapidement pour des porcs de 20 à 40 kg (9-14 g/j), proportionnellement aux protéines fixées (70-110 g/j). Le besoin augmente plus lentement chez les animaux plus âgés, ce qui correspond partiellement à l'augmentation du besoin d'entretien en fonction du poids métabolique : 0,7 à 0,8 g/j de lysine supplémentaire sont nécessaires par 10 kg de poids vif ; c'est-à-dire à 0,2 p. 100 de lysine dans la ration. Ce résultat correspond à trois fois le besoin d'entretien trouvé chez des truies de 150 kg. En tenant compte des quantités ingérées, le besoin en lysine exprimé en p. 100 de la ration diminue d'abord lentement jusqu'à 40 kg, puis plus rapidement ensuite (tabl. 6).

TABLEAU 6

Besoins en lysine et en méthionine du porc
(en p. 100 de leur somme)

MS ingérées (kg)	1	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,0	3,1
Poids (kg)	20	30	40	50	60	70	80	90
Lysine								
g/j	9,0	12,0	14,0	15,0	15,8	16,4	16,8	17,3
p. 100 MS ingérées ...	0,90	0,86	0,83	0,75	0,66	0,61	0,56	0,56
Méthionine								
g/j	5,2	7,1	8,5	10,0	11,3	11,8	12,0	12,0
p. 100 MS ingérées ...	0,52	0,51	0,50	0,50	0,47	0,44	0,40	0,39

WIESEMÜLLER, POPPE, (1968.)

Le besoin journalier en méthionine augmente plus rapidement avec l'âge et le poids que le besoin en lysine : entre 20 et 50 kg, le besoin en méthionine est doublé alors que celui en lysine n'est augmenté que de 65 p. 100. La divergence des besoins en méthionine et lysine au cours de la croissance est liée, d'une part à la faible teneur relative des tissus synthétisés en méthionine et cystine, 3 à 3,5 g/16 g d'N au lieu de 7,5 pour la lysine, et d'autre part aux besoins importants de méthionine pour l'entretien (BAKER *et al.*, 1966). La méthionine assure en effet diverses fonctions de détoxication au niveau de l'organisme et les acides aminés soufrés se trouvent en concentration relativement importante dans les phanères. Rapporté à la ration, le besoin en méthionine du jeune porc de 20 kg ne correspond qu'à 60 p. 100 du besoin en lysine alors qu'il est de 72 p. 100 du même besoin chez le porc de 80 kg.

Les normes préconisées par l'A.R.C. (tabl. 4 et 5) pour la lysine sont particulièrement élevées pour le porc de 40 à 50 kg (0,9 à 0,95 p. 100 de lysine) et pour le jeune porcelet de 2 à 9 kg (2,2 à 1,5 p. 100 de lysine). L'utilisation de telles normes avec des rations bien équilibrées en acides aminés indispensables chez le porc de 50 à 90 kg conduit à des rendements faibles de l'azote digéré : 30 à 50 p. 100 (OSLAGE et FLIEGEL, 1964 ; FARRIES *et al.*, 1968 ; THORBEB, 1968) alors que le jeune porcelet de 20 à 30 kg retient 50 à 60 p. 100 de l'azote absorbé.

ACIDES AMINÉS LIBRES DU SANG ET ÉTAT DE NUTRITION AZOTÉE

Les acides aminés libres du sang, et, en particulier du plasma constituent la principale forme de transport vers les tissus des produits de la digestion et de l'absorption des matières azotées alimentaires. Leurs concentrations sont à chaque instant le résultat de l'équilibre entre les apports d'acides aminés alimentaires ou provenant du catabolisme des protéines, et la synthèse de protéines nouvelles.

Lorsqu'un acide aminé est fourni à l'animal en quantité supérieure à son besoin, sa teneur dans le sang augmente, et n'est limitée que par l'aptitude des organes à le cataboliser. Dans le cas contraire, les tissus qui ont à leur disposition les autres nutriments, et en particulier les autres acides aminés qui leur sont nécessaires pour synthétiser des protéines, vont prélever l'acide aminé limitant dès son arrivée dans le sang, et sa teneur y sera diminuée.

Des relations ont ainsi pu être établies chez le Rat et le Poulet entre les concentrations en acides aminés dans le plasma ou dans le sang total, et le degré de satisfaction du besoin, au moins pour un certain nombre d'acides aminés. Des études similaires ont été entreprises chez le Porc par un certain nombre d'équipes.

Une des difficultés de ces études est le choix du moment auquel les échantillons de sang doivent être prélevés, en fonction du rythme alimentaire de l'animal. L'influence de l'aliment risque d'être prépondérante pendant les premières heures qui suivent le repas, et les concentrations alors mesurées risquent de dépendre plus des apports que de l'utilisation. Les concentrations mesurées dans des prélèvements effectués après un jeûne trop prolongé risquent d'être modifiées par le catabolisme tissulaire. Il est bien difficile de choisir un optimum et plusieurs techniques ont été utilisées :

— les animaux sont nourris *ad libitum*, et les prélèvements sont effectués sans aucun jeûne préalable (PUCHAL *et al.*, 1962) ;

— les animaux sont soumis à un jeûne de durée variable, à la suite duquel des prises de sang sont effectuées, (CHANCE, 1962, RICHARDSON *et al.*, 1965) ;

— les animaux sont soumis à des repas, et les prélèvements sont effectués à des temps variables après l'ingestion de ce dernier. (LONG *et al.*, 1965 ; KRYSCIAC *et al.*, 1966 ; COMBS *et al.*, 1967 ; COOKE *et al.*, 1966). Les repas sont plus ou moins espacés selon les auteurs, et souvent précédés d'un jeûne de 12 à 18 heures.

Plusieurs auteurs, et en particulier CHANCE, ont utilisé concurremment deux de ces techniques.

TABLEAU 7

Composition moyenne en acides aminés libres du sang et du plasma du porc
($\mu\text{g/ml}$)

Régime	Sang total			Plasma		
	Farine de poisson	Blé lysine tryptophane	Tournesol lysine tryptophane	Maïs soja lait	Maïs soja	Maïs farine de poisson
Acide aspartique ...	5	5	5	2	3	tr.
Thréonine	9	8	8	18	21	31
Acide glutamique ..	20	17	ND	21	22	33
Proline	ND	29	19	47	31	33
Citrulline	7	12	12		15	16
Glycine	44	69	68	58	54	123
Alanine	24	40	31	67	42	54
Valine	19	22	31	30	28	35
Cystine	ND	ND	7	12	5	9
Méthionine	ND	ND	7	6	tr.	8
Isoleucine	} 37	12	13	18	17	18
Leucine		16	15	30	21	23
Phénylalanine		9	7	16	10	8
Tyrosine	6	10	7	28	17	11
Ornithine	6	14	20	—	} 53	} 51
Lysine	15	21	30	26		
Histidine	ND	11	8	15		
Arginine	ND	19	ND	26	21	33
Méthode	chromato. papier	colonne	colonne	colonne	colonne	colonne
	PION, RÉRAT: 1964, 1967, 1969			CHANCE 1962	PUCHAL <i>et al.</i> , 1962	

Les résultats obtenus actuellement sont encore partiels, et méritent d'être complétés par de nouvelles expérimentations ; il est toutefois possible d'en tirer un certain nombre de conclusions : les valeurs moyennes obtenues par différents auteurs (tabl. 7) sont assez comparables au moins en ce qui concerne les acides aminés indispensables. Les différents régimes utilisés doivent satisfaire les besoins des animaux, mais peuvent contenir certains acides aminés en quantités supérieures aux besoins.

Il ne semble pas y avoir de différences entre les concentrations en acides aminés plasmatiques déterminées chez les mâles et chez les femelles, contrairement à ce qui est observé en ce qui concerne l'urée, (CHANCE, 1962).

TABLEAU 8

Influence du jeûne sur la composition en acides aminés libres du plasma du porc

	Temps de jeûne en heures								
	0	6	12	18	24	0	12	24	
Thréonine.....	33	21	15	18	22	22	12	16	
Sérine.....	27	18	15	17	17	19	13	17	
Glutamine.....	70	48	51	44	48				
Ac. glutamique.....	32	26	23	22	21	39	29	34	
Proline.....	60	33	23	21	24	47	29	39	
Citrulline.....	18	15	13	13	14				
Glycine.....	71	67	68	50	53	46	34	50	
Alanine.....	48	30	29	28	30	45	29	39	
Valine.....	52	37	28	40	46	33	22	30	
Isoleucine.....	27	19	13	20	22	20	14	17	
Leucine.....	43	30	21	31	32	33	22	26	
Tyrosine.....	38	23	15	17	21	21	12	20	
Phénylalanine.....	20	15	13	17	18	18	12	17	
Ornithine.....	18	12	7	8	8	17	10	17	
Lysine.....	31	18	16	27	31	25	17	27	
Histidine.....	18	14	12	11	12	17	16	19	
Arginine.....	37	22	15	19	21	25	14	24	
	d'après CHANCE, 1962					d'après RICHARDSON <i>et al.</i> , 1965			

Les concentrations de la plupart des acides aminés diminuent après 6 à 12 heures de jeûne ; les teneurs en acides aminés indispensables augmentent à nouveau après 12, 24 ou 36 heures de jeûne, (CHANCE, 1962 ; RICHARDSON *et al.*, 1965 ; TYPO et MEADE, 1964) (tabl. 8), et continuent à augmenter au cours d'un jeûne prolongé (CUPERLOVIC *et al.*, 1968).

Les concentrations augmentent généralement après l'ingestion d'un repas, et présentent un ou deux pics, (COOKE *et al.*, 1966 ; LONG *et al.*, 1965). Il y a très généralement une relation entre la composition des aliments protéiques ingérés, et les concentrations en acides aminés indispensables du plasma. En particulier, des suppléments par des doses graduelles d'un acide aminé entraînent généralement une augmentation de la teneur du sang en cet acide aminé, (COOKE *et al.*, 1966 ; MITCHELL *et al.*, 1968 ; LONG *et al.*, 1965 ; PICK et MEADE, 1968). L'influence de l'alimentation se manifeste dès le premier repas (colostrum) (CUPERLOVIC, 1967).

Les concentrations en acides aminés indispensables du plasma de porcs en croissance, recevant une ration de taux protéique constant, augmentent avec l'âge des animaux (tabl. 9) (CHANCE, 1962). Il semble que les apports alimentaires d'acides aminés indispensables deviennent progressivement excédentaires par rapport aux besoins, ce qui est en accord avec l'évolution de ces derniers au cours de la croissance.

TABLEAU 9

*Influence de l'âge sur la composition en acides aminés libres du plasma du porc
($\mu\text{g/ml}$ de plasma)*

Taux protéique de la ration p. 100	19,4						16,6	13,5	
	Age (semaines)		5	6	7	8	9	10	15
Thréonine.....	16	24	18	29	29	33	26	20	
Sérine.....	21	35	35	37	32	27	24	24	
Glutamine.....	64	82	78	100	91	70	70	70	
Ac. glutamique.....	19	24	21	30	24	32	32	25	
Proline.....	34	47	47	61	63	60	46	41	
Citrulline.....	19	23	20	21	20	18	18	16	
Glycine.....	47	60	58	76	72	71	83	78	
Alanine.....	54	73	67	69	58	48	50	49	
Valine.....	28	33	30	40	46	52	40	35	
Cystine.....	13	14	12	18	13	22	19	17	
Méthionine.....	5,2	6,9	6,1	7,6	8,1	8,6	7,3	7,6	
Isoleucine.....	18	23	18	22	24	27	19	16	
Leucine.....	26	32	30	38	40	43	33	31	
Tyrosine.....	19	28	28	37	37	38	27	24	
Phénylalanine.....	14	17	16	19	18	20	20	16	
Ornithine.....	10	17	14	19	17	18	15	15	
Lysine.....	32	19	24	29	33	31	29	22	
Histidine.....	12	14	15	20	20	18	18	18	
Arginine.....	21	24	26	35	35	37	38	31	
Tryptophane.....	2,9	1,6	1,7	5,0	4,1	1,4	4,3	2,6	

CHANCE, 1962.

Il n'est pas possible de considérer isolément les variations de concentration d'un acide aminé isolé. Il y a en effet, une interaction entre les concentrations des divers acides aminés ; c'est ainsi que l'on constate très souvent une diminution de la teneur en thréonine du plasma lorsque la teneur en lysine de l'aliment et la teneur en lysine libre du sang augmentent. Ces phénomènes sont probablement dus à ce que la présence de lysine supplémentaire permet une synthèse protéique accrue, qui nécessite l'utilisation d'une proportion plus importante des apports des autres acides aminés alimentaires.

La détermination des concentrations plasmatiques en acides aminés peut constituer une méthode de détermination des besoins au moins en ce qui concerne certains acides aminés : isoleucine, lysine, histidine, leucine, (MITCHELL, 1965).

ACIDES AMINÉS LIBRES DU SANG ET DIGESTION

L'étude du sang périphérique ne permet pas de déterminer avec précision la cinétique des apports du tube digestif consécutifs à l'ingestion de protéines ou d'acides aminés. En effet, les produits de l'absorption risquent d'être modifiés en particulier par le foie. Aussi, est-il préférable, pour l'étude de l'utilisation digestive des protéines et des acides aminés, de mesurer les variations de concentration dans le sang de la veine porte. Nous avons ainsi étudié la digestion des protéines

de la farine de hareng, de l'orge et de l'arachide, et comparé les courbes cinétiques obtenues pour chacune de ces protéines à celles qui étaient observées après l'ingestion de repas sans protéines (PION *et al.*, 1964).

Les observations faites dans ce dernier cas montrent que la part des apports endogènes est faible dans le cas des acides aminés indispensables. Les concentrations des divers acides aminés

TABLEAU IO

Variations de la teneur en quelques acides aminés libres du sang porte du porc au cours de la digestion du blé

(en p. 100 de leur teneur dans le sang des animaux à jeun)

	Régime	Temps après le début du repas						
		1/2 h	1 h	1 h 30	2 h	3 h	4 h	5 h
Nombre de porcs	A	2	3	2	3	2	2	3
	B	0	2	1	1	2	2	1
Nbre de prélèvements	A	3	7	5	6	4	6	7
	B	0	4	2	3	5	3	2
Thréonine	A	146	183	192	153	137	132	111
	B	—	214	176	171	174	158	140
Sérine	A	218	142	160	157	150	105	143
	B	—	249	177	192	201	164	138
Citrulline	A	97	135	151	130	135	126	107
	B	—	148	154	140	131	116	121
Proline	A	211	195	267	219	245	131	188
	B	—	307	239	270	279	232	184
Glycine	A	104	111	117	110	108	118	90
	B	—	129	111	118	110	102	103
Alanine	A	140	177	188	154	144	137	103
	B	—	217	196	195	150	129	103
Valine	A	170	180	196	148	134	128	111
	B	—	210	162	183	180	150	136
Isoleucine	A	189	183	203	154	122	127	117
	B	—	257	183	194	196	163	128
Leucine	A	194	192	198	152	130	135	123
	B	—	254	182	199	198	166	139
Tyrosine	A	173	201	212	160	189	178	148
	B	—	249	209	231	220	199	188
Phénylalanine	A	211	215	245	221	229	199	184
	B	—	295	247	299	290	232	225
Ornithine	A	135	158	173	155	168	155	127
	B	—	225	191	203	163	136	169
Lysine	A	126	176	165	115	119	112	81
	B	—	135	107	111	71	62	66
Histidine	A	129	150	154	132	132	138	108
	B	—	169	151	154	135	120	114

Régime A : ration blé-lysine-tryptophane.

Régime B : ration blé non supplémenté.

PION, RÉRAT (1967).

augmentent de façon parfois importante (200 p. 100) deux à trois heures après les repas protéiques. Elles diminuent ensuite, pour retrouver le niveau du sang des animaux à jeun, 8 heures environ après le début du repas. Les courbes observées pour les acides aminés indispensables sont caractéristiques des protéines ingérées. Les augmentations de concentrations sont très élevées pour les acides aminés indispensables, dans le cas de la farine de poisson, et très faibles dans le cas de l'orge. Elles sont généralement importantes dans le cas de l'arachide, sauf en ce qui concerne les acides aminés limitants de cette protéine (lysine et thréonine en particulier).

TABLEAU II

Évolution des concentrations en quelques acides aminés libres du sang porte du porc au cours de la digestion du tournesol (en p. 100 des concentrations du sang des animaux à jeun)

	Régimes	Temps après le repas							
		1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	2 h 1/2	3 h	4 h	5 h
Nombre d'animaux ..	A	3	2	3	1	3	1	2	3
	B	3	3	3	3	2	3	2	2
Nbre de prélèvements	A	4	4	4	3	4	3	2	3
	B	4	5	3	3	2	3	3	2
Thréonine	A	155	214	189	220	170	149	163	101
	B	130	156	206	188	225	141	77	87
Citruiline	A	120	162	177	156	181	134	165	100
	B	97	114	141	133	194	182	77	103
Proline	A	166	244	174	252	205	187	135	130
	B	130	196	213	196	242	191	89	113
Glycine	A	82	132	97	127	116	113	122	92
	B	87	107	118	118	145	113	63	76
Alanine	A	150	232	176	246	171	176	163	116
	B	128	251	237	200	247	160	71	90
Valine	A	112	172	138	165	130	137	147	94
	B	93	131	143	140	164	135	68	90
Isoleucine	A	142	211	165	208	155	163	170	118
	B	122	162	197	196	205	155	80	89
Leucine	A	154	214	163	196	143	139	157	104
	B	140	168	211	186	204	132	64	80
Tyrosine	A	189	223	186	233	184	139	180	105
	B	150	176	224	197	245	155	81	85
Phénylalanine	A	195	275	224	315	231	228	220	128
	B	180	247	296	257	332	188	83	88
Ornithine	A	138	202	176	185	152	147	157	98
	B	120	145	202	154	198	147	80	92
Lysine	A	171	217	194	170	186	142	143	108
	B	125	161	155	133	132	91	62	67
Histidine.....	A	151	188	160	195	169	147	167	134
	B	128	146	196	170	198	136	74	82

Régime A : tournesol supplémenté en lysine.

Régime B : tournesol non supplémenté en lysine.

PION, RÉRAT, (1969).

Les variations de concentrations observées dans le cas des acides aminés non indispensables n'ont souvent que peu de lien avec la composition de l'aliment :

— les augmentations des teneurs en glycine et en alanine sont très importantes comparées aux apports alimentaires, alors que l'acide aspartique et la somme glutamine + acide glutamique n'augmentent que relativement peu. Ces faits sont probablement dus à des métabolisations dans la muqueuse intestinale ; il en est de même pour l'élévation de la teneur du sang porte en ornithine, après ingestion d'arachide, riche en arginine.

Nous avons étudié ensuite (PION et RÉRAT, 1967) la supplémentation blé-acides aminés libres. Les repas expérimentaux étaient constitués, soit du régime de base dont la seule source de protéine était le blé riche en azote et supplémentalé en lysine et en tryptophane, soit du même régime non supplémentalé. Les proportions des différents acides aminés indispensables dans le sang prélevé au début du repas sont voisines de celles qui avaient été observées précédemment (tabl. 7) ; après ingestion de l'aliment supplémentalé en lysine, les concentrations des acides indispensables du sang porte augmentent très vite, ce qui est probablement lié à une vidange stomacale rapide, puis diminuent 2 heures après le début du repas (tabl. 10). Le maximum observé pour la lysine est beaucoup plus faible lorsque la ration ne comporte pas de lysine libre, et les concentrations des autres acides aminés restent élevées pendant plusieurs heures après l'ingestion des repas non supplémentalés, probablement parce que leur utilisation est limitée par l'absence de lysine.

Enfin, nous avons étudié (PION et RÉRAT, 1969) la supplémentation en lysine d'un aliment protéique bien différent du précédent : le tourteau de tournesol, supplémentalé en méthionine et en tryptophane. La cinétique de l'évolution des concentrations en acides aminés du sang porte est voisine de celle qui avait été observée dans le cas du blé (tabl. 11). Les différences observées reflètent généralement la composition des régimes en ce qui concerne les acides aminés indispensables : lysine, thréonine, isoleucine en particulier, et sont amplifiées dans le cas de la lysine. Toutefois les variations de teneur du sang porte en tyrosine et phénylalanine sont beaucoup plus faibles dans le cas du tournesol, quoique les apports alimentaires soient voisins, ce qui peut avoir deux causes : ou bien l'utilisation n'est pas totale (digestion et absorption), ou bien le tube digestif en prélève une plus grande quantité pour effectuer des synthèses rendues permises par la présence

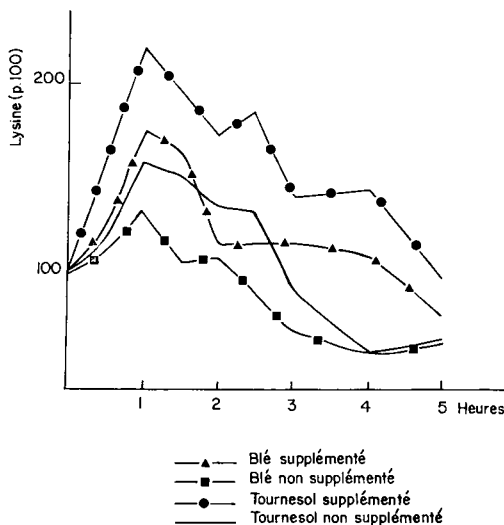


FIG. 1. — Concentration de la lysine libre dans le sang porte pendant la digestion (p. 100 de la concentration au début du repas)

(PION et RÉRAT, 1969)

en plus fortes proportions des autres acides aminés. La lysine supplémentaire semble être absorbée à la même vitesse que celle qui provient des protéines aussi bien dans le cas du blé que dans celui du tournesol (fig. 1).

L'ensemble de ces expériences montre que la composition du mélange d'acides aminés qui apparaît dans la veine porte au cours de la digestion peut varier dans de très larges proportions en fonction de la composition des protéines alimentaires. Aussi, cette méthode d'étude doit-elle se prêter aussi bien à l'étude des supplémentations qu'à celle de l'indisponibilité de certains acides aminés liée à une libération imparfaite, ou trop lente. Elle devrait être complétée par une étude de la vidange stomacale qui comporte généralement deux phases (AUFFRAY *et al.*, 1967) et qui constitue le premier facteur de la cinétique de la digestion.

VALEUR NUTRITIVE DES PROTÉINES

La ration consommée doit contenir chaque jour la quantité d'acides aminés indispensables nécessaires à la protéinogenèse permise par le potentiel génétique des animaux. La valeur nutritive des protéines alimentaires dépend essentiellement des quantités des divers acides aminés indispensables constitutifs. Les diverses protéines d'une ration constituent un spectre d'acides aminés indispensables plus ou moins différents du spectre idéal défini par les besoins (tabl. 12). Il est

TABLEAU 12

Comparaison des acides aminés indispensables et semi-indispensables de différents aliments avec les besoins du porc
(en p. 100 de la somme de ceux-ci)

	Orge	Blé	Maïs	Soja	Ara- chide	Tour- nesol	Œuf	Farine de hareng	Besoins du porc
Thréonine	9,6	8,8	10,2	9,4	8,6	9,65	9,5	9,65	10,25
Valine	15,15	14,75	14,55	12,75	15,0	15,05	13,85	12,8	10,0
Isoleucine	10,7	11,55	10,65	11,85	11,85	12,3	10,75	10,55	11,5
Leucine	16,05	17,35	15,95	18,3	17,8	16,8	16,1	15,85	13,7
Tyrosine }	12,2	12,2	12,15	11,85	12,6	11,95	12,0	11,85	12,0
Phényl- alanine }									
Méthionine }									
Cystine }	12,25	12,15	12,65	6,75	7,8	<i>10,9</i>	<i>11,4</i>	8,9	12,6
Lysine	10,15	8,5	8,75	15,35	10,6	9,5	<i>14,25</i>	18,45	16,5
Histidine	5,75	6,7	7,65	6,4	7,35	6,6	4,65	4,7	4,8
Arginine	7,4	7,4	7,45	7,2	7,6	7,25	7,0	7,2	6,0
Somme des AAI .. équilibrés g/16 g N	35,9	32,9	37,2	43,0	32,0	37,85	52,65	44,45	2,6 trypto.

Leucine limitée à 150 p. 100 d'isoleucine.

Arginine limitée à 7,3 p. 100 environ du total des acides aminés.

Tyrosine + phénylalanine limitée à 12 p. 100 environ du total.

En chiffres gras : déficience importante (> 20 p. 100).

En chiffres italiques : déficience faible.

possible, en exprimant les différents acides aminés indispensables des protéines alimentaires en p. 100 de leur somme, de comparer les diverses protéines et d'utiliser au mieux leurs possibilités de supplémentation.

La réalisation de rations contenant les différents acides aminés indispensables en proportions équilibrées est facilitée par l'amélioration de la qualité de certaines protéines (maïs), l'utilisation d'acides aminés industriels et de nouvelles sources de protéines (levure).

Amélioration de la qualité des céréales

Les céréales, et le maïs en particulier, sont pauvres en lysine et aussi en tryptophane qui peut être apporté en quantité appréciable par la farine de luzerne (1,7 g/16 g N) (HINTZ et HEITMAN, 1967). Un maïs contenant 10 p. 100 de protéines, supplémenté en lysine et en tryptophane peut assurer le besoin en acides aminés indispensables du porc après 50 kg maïs ne peut assurer la croissance normale du jeune porc. Certains acides aminés indispensables tels que l'isoleucine et la valine y seraient partiellement indisponibles (GALLO et POND, 1968 ; GALLO *et al.*, 1968 ; VERMOREL, 1969).

De nouvelles variétés de maïs ont été obtenues grâce à des mutants *Opaque 2* et *Farineux 2* aux U. S. A. (NIELSON, 1965) et *Amylose extender* en France (BAUDET *et al.*, 1968). Ces mutants ont des protéines pauvres en zéine et sont mieux équilibrés en lysine (3,5-5,0 contre 2,6 g/16 g N) et en tryptophane. En outre, il semble que la disponibilité des acides aminés indispensables de ces maïs soit meilleure (CROMWELL *et al.*, 1967).

Produits industriels

L'utilisation d'acides aminés libres produits industriellement se développe depuis une dizaine d'années. Elle a fait l'objet d'études récentes chez le porc (HINTZ et HEITMAN, 1967, JURGENS *et al.*, 1967 ; RÉRAT et HENRY, 1969). La DL-méthionine est utilisée couramment et permet de supplémenter les rations déficientes en cet acide aminé. La méthionine est en général correctement utilisée, mais des études plus fines comportant une meilleure connaissance des besoins, l'analyse de la vidange stomacale de la méthionine et des protéines alimentaires et la mesure de l'aminoacidémie porte seraient nécessaires. La L-lysine est souvent trop coûteuse pour concurrencer le soja (au prix international) dans la supplémentation des céréales. En outre, les protéines d'origine industrielle (levures) produites sur les dérivés du pétrole sont riches en lysine (5,5-9 p. 100 g/16 g N) et peuvent ainsi suppléer à la déficience en lysine des céréales et concurrencer la L-lysine industrielle.

Influence des traitements technologiques et disponibilité des acides aminés

Les traitements technologiques sont de plus en plus utilisés pour la conservation des aliments (séchage artificiel des céréales) et pour leur utilisation (délipidation des graines oléagineuses). En outre, les traitements technologiques permettent l'obtention de produits (et sous-produits) destinés à des fabrications de plus en plus diversifiées : les farines riches en protéines obtenues par turboséparation sont destinées aux animaux. A ces fabrications s'ajoute la conservation destinée à amortir les variations annuelles de productions. Tous ces facteurs peuvent contribuer à modifier sinon la composition en acides aminés indispensables des protéines, du moins leur disponibilité.

Il est actuellement possible de mesurer avec précision les teneurs en acides aminés indispensables des rations, et l'analyse de leur disponibilité dans les protéines (végétales en particulier) peut enfin être abordée. Le Rat a en général été utilisé pour ces études ; le blé paraît avoir des protéines dont la lysine et la thréonine sont parfaitement disponibles (PAWLAK et PION, 1968). Quelques travaux ont été amorcés chez le Porc : BABCOCK et MARKLEY (1967), ont montré que le gluten avait des acides aminés indispensables relativement peu disponibles (valine, isoleucine),

en comparaison avec ceux des protéines du lait. Ce phénomène pourrait être lié au déséquilibre des divers acides aminés indispensables du gluten.

WIESEMÜLLER et POPPE (1969) ont entrepris une étude systématique de la valeur nutritive des protéines végétales et animales chez le porc de 25 à 35 kg. Ces auteurs ont déterminé l'azote endogène intestinal excrété dans les fèces : 0,157 g d'N par 100 g de matières sèches ingérées, (MSI) ce qui correspond à environ 1 g de protéines par 100 g de MSI. Cette détermination leur a permis de mesurer la digestibilité vraie des diverses protéines : 90 à 100 p. 100 ; une digestibilité vraie de 75 p. 100 a été trouvée pour une orge, une levure et une farine de poisson ; il y a lieu d'examiner les traitements subis par ces produits qui entraînent une telle diminution de la digestibilité réelle de leurs protéines.

Les critères utilisés par WIESEMÜLLER et POPPE : azote fixé maximum, rendement maximum de l'azote ingéré etc. ne sont pas suffisants pour caractériser une protéine donnée. La valeur nutritive d'une protéine alimentaire dépend de sa capacité à mesurer les besoins en acides aminés indispensables de l'animal (WIESEMÜLLER et POPPE, 1969) ; cette estimation nécessite l'utilisation de rations parfaitement équilibrées en acides aminés indispensables associées à une méthode de mesure de la disponibilité en ces acides aminés.

CONCLUSION

Les performances zootechniques doivent être analysées en terme d'azote fixé dans l'animal entier, ou mieux, dans les fractions consommables des carcasses : tissu musculaire et organe (GALLO et POND, 1968).

Les besoins en acides aminés indispensables du porc doivent être précisés en utilisant des rations synthétiques, en particulier chez le jeune pendant la phase de fixation protéique intense, et exprimés par rapport à l'énergie digestible ou métabolisable. Les critères employés devraient comporter des bilans azotés associés à l'analyse fine de l'état de satisfaction des besoins en chacun des principaux acides aminés indispensables ; la satisfaction de ces besoins est déterminée par la mesure des concentrations en acides aminés libres du sang et si possible du muscle, et par une programmation de l'apport alimentaire au cours de la journée (DEAN et SCOTT, 1965, chez le Poulet). L'étude des enzymes du foie et du sérum pourrait permettre d'apprécier l'état de nutrition azotée global des animaux (BERGNER *et al.*, 1966 ; TUMBLESON et LEADE, 1966).

L'étude de la disponibilité des diverses protéines alimentaires doit être entreprise sur les diverses espèces et en particulier chez le Porc. Des études préalables sur le Rat doivent permettre d'étudier les phénomènes spécifiques au porc liés à la cinétique de la vidange stomacale, du transport des acides aminés, à sa vitesse de croissance et à la composition particulière de son croît.

Reçu pour publication en janvier 1972.

SUMMARY

SOME RECENT ASPECTS OF PROTEIN METABOLISM AND THEIR CONSEQUENCES AS REGARDS THE SATISFACTION OF PROTEIN REQUIREMENTS IN THE PIG

Several factors of the protein nutrition have been studied.

Growth and requirements for protein and amino acids (tables 1-6)

Newborn pig bodies contain only 11 p. 100 protein and 6 p. 100 lipids. After two weeks, they contain about 15 p. 100 protein and 16 p. 100 lipids. Daily net body protein synthesis increases up to 100-125 g/day for pigs weighing 30 to 35 kg. For older pigs, it remains fairly constant

whereas the lipid synthesis increases all the more as the feeding level gets higher. Protein synthesis, is not reduced by an energy restriction corresponding to 15-20 p. 100 of the requirement. The bound protein/metabolizable energy ratio remains constant up to 35-40 kg live weight, and then decreases when the animals grow larger. Consequently, the protein/metabolizable energy ratio (or protein/digestible energy ratio) of the diet has to remain constant in the first growth period, and must be reduced in the second period when the animals grow in age.

Changes in the requirements during growth are not identical for all essential amino acids. Daily lysine need increases fastly up to 40 kg live weight, and then more slowly. The increase in the second growth period is only related to a higher requirement for maintenance. On the contrary, the need for methionine is increasing faster with age than the mean amino acid requirement (table 6).

The accuracy in the determinations of amino acid needs is improving each year, as it may be seen from the comparison of the needs of different animal species.

Free amino acids in the blood and protein nutrition

Products of digestion of dietary proteins are carried to the sites of protein synthesis mainly as free amino acids in the blood plasma. Their contents depend, at any moment, on the balance between the amino acids coming from the digestive tract or resulting from the catabolism of body protein, and those used for protein synthesis. Therefore, many research workers have looked for a connection between free amino acids in pig blood, amino acid needs and dietary amino acids. Mean values from different studies generally agree as far as essential amino acids are concerned (table 7). There is an interrelationship between the contents of the different amino acids, but those of the essential amino acids are generally related to the amino acid composition of the diet.

Free amino acids in the blood and protein digestion

The concentrations of the different free amino acids in the portal blood depend on their rates of release by the digestive tract. Therefore, we studied the variations in the portal amino acid contents during digestion of various feeds : herring meal, barley meal, peanut meal, protein free meal, wheat and sunflower meal with or without addition of free lysine. Increases in the essential amino acid contents were very high for herring meal and very small for barley.

They were high during the course of peanut digestion, except for lysine and threonine which are the limiting factors of that protein feed. Free lysine seems to be absorbed at the same rate as lysine coming from the digestion of sunflower or wheat proteins (tables 10, 11, fig. 1). Since the variations of the free amino acid concentrations were very large during digestion, their determination may be useful when studying the protein and amino acid supplementation and the availability of some amino acids.

Nutritive value of proteins

The proportions of the different amino acids in the dietary proteins correspond more or less to the requirements of the animals (table 12). The compositions of the various feeds can easily be compared the one with the others and with the requirements of the animals by expressing the contents of every essential and semi essential amino acid as a p. 100 of their total amount. The design of well balanced diets is becoming easier because of the improvement of some proteins (maize) and the use of industrial amino acids (DL-methionine, L-lysine) and proteins (yeasts, alga). However, the availability of some amino acids may be reduced during the course of processing or during storage, and there is more and more need for an accurate technique for measuring this availability.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL, 1967. *The nutrient of farm livestock*, n° 3, Pigs, London.
- ANDERSON G. H., BOWLAND J. P., 1967. Lysine and fat supplementation of weanling pig diets. *Can. J. Anim. Sci.*, **47**, 47-55.
- AUFFRAY P., MARTINET J., RÉRAT A., 1967. Quelques aspects du transit gastro-intestinal chez le porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **7**, 261-279.
- BABCOCK M. J., MARKLEY R. A., 1967. Utilization of amino acids from protein by weanling pigs. *J. Nutr.*, **93**, 368-376.

- BAKER D. H., BECKER D. E., NORTON H. W., JENSEN A. H., HARMON B. G., 1966 a. Some qualitative amino acid needs of adult swine for maintenance. *J. Nutr.*, **88**, 382-390.
- BAKER D. H., BECKER D. E., NORTON H. W., JENSEN A. H., HARMON B. G., 1966 b. Quantitative evaluation of the threonine isoleucine, valine and phenylalanine needs of adult swine for maintenance. *J. Nutr.*, **88**, 391-396.
- BAKER D. H., BECKER D. E., NORTON H. W., JENSEN A. H., HARMON B. G., 1966 c. Quantitative evaluation of the tryptophan, methionine and lysine needs of adult swine for maintenance. *J. Nutr.*, **89**, 441-447.
- BAUDET J., CAUDERON A., FAUCONNEAU G., MOSSE J., PION R., 1968. Sur un troisième gène mutant (*amylose extender*) qui accroît la teneur en lysine du grain de maïs et sur son effet cumulatif avec le gène *opaque 2*. *C. R. Acad. Sci.*, **266**, 2260-2263.
- BECKER D. E., JENSEN A. H., HARMON B. G., 1963. III. *Agr. Exp. Sta. Circ.*, n° 866.
- BERGE S., INDREBØ T., 1954. Composition of body and weight gain of suckling pigs. *Meld. Norg. Landbruks*, **34**, 481-500.
- BERGNER H., WIRTHGEN B., MUNCHOW H., 1966. Protein in feedingstuffs 1-glutamata oxaloacetate transaminase, glutamate pyruvate transaminase and ornithine carbamoyltransferase in serum of pigs fed on protein of whole egg, barley or different yeasts or on a protein free diet. *Arch. Tierernähr.*, **16**, 507.
- BOAZ T. G., ELSLEY F. W. H., 1962. The growth and carcass quality of bacon pigs reared to different weights at 56 days old. *Anim. Prod.*, **4**, 13-24.
- CHANCE R. E., 1962. In *Amino acid requirements of salmon*. These Purdue Univ. Ph. (D), 68-181.
- CLAWSON A. J., 1967. Influence of protein level amino acid ratio and caloric density of the diet on feed intake and performance of pigs. *J. Anim. Sci.*, **26**, 328-334.
- COMBS G. E., CONNESS R. G., BERRY T. H., WALLACE H. D., 1967. Effect of raw and heated soybeans on gain, nutrient digestibility, plasma amino acids and other blood constituents of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, **26**, 1067-1071.
- COOKE R., LODGE G. A., LEWIS D., 1966. Nitrogen balance and plasma amino acids in the pig. *Proc. 9th Intern. Cong. Anim. Prod.*, Edinburgh, 124-129.
- CROMWELL G. L., CLINE T. R., PICKETT R. A., BEESON W. M., 1967. Growth and nitrogen balance studies with « opaque-2 » corn. *J. Anim. Sci.*, **26**, 905-912.
- ČUPERLOVIC M., 1967. Free amino acids in the blood plasma of newborn piglets before and after the first intake of colostrum. *Acta Vet. Scand.*, **8**, 217-227.
- ČUPERLOVIC M., JOVANOVIC M., STOSIC D., 1968. *Proc. Int. Symp.*, Vienne, **193**.
- DEAN W. F., SCOTT H. M., 1965. The development of an amino acid reference diet for the early growth of chicks. *Poultry, Sci.*, **44**, 803-808.
- DURAND G., FAUCONNEAU G., PENOT E., 1967 a. Évolution des teneurs en acides nucléiques et en protéines du foie du porc au cours de la croissance postnatale. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **49**, 361-370.
- DURAND G., FAUCONNEAU G., PENOT E., 1967 b. Évolution de la teneur en acides nucléiques et en protéines du muscle chez le porc au cours de la croissance postnatale. *C. R. Acad. Sc. (D)*, **264**, 1640-1643.
- DURAND G., PENOT E., 1970. Effets du maintien à poids constant pendant de longues durées chez le rat sévré. Reprise de la croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 385-400.
- ELSLEY F. W. H., 1963. Studies on growth and development in the young pig. part II. A comparison of the performance to 200 lb of pigs reared along different growth curves to 56 days of age. *J. Agric. Sci.*, **61**, 243-251.
- FARRIES E., ANGELOWA L., SCHRODER J., 1968. Digestibility of nutrient and N retention in Pietrain pigs 2-retention and utilisation of N in relation to growth. *Ztschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.*, **23**, 340-349.
- FAUCONNEAU G., 1966. Quelques aspects actuels de la nutrition azotée des animaux monogastriques. *Proc. 9th Intern. Cong. Anim. Prod.*, Edinburgh, 46-59.
- FENDER M., 1968. Schweinemastversuch mit gestaffelten Aminosäuregehalt in linear programmierten Futtermischungen. *Ztsch. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.*, **24**, 257-263.
- GALLO J. T., POND W. G., 1968. Amino acid supplementation to all corn diets for pigs. *J. Anim. Sci.*, **27**, 73-78.
- GALLO J. T., POND W. G., LOGOMARSINO J. V., 1968. Response of early weaned pigs to amino acid supplementation of corn diets. *J. Anim. Sci.*, **27**, 1 000-1 005.
- GRUHN K., 1965. Einfluss der Alters auf Nährstoffgehalt und Fleischeiweisszusammensetzung bei Schweinen. *Nahrung*, **9**, 325-333.
- HENK G., LAUBE W., 1967. Experiments studying the effects of feeding intensity upon the growth rate, feed consumption, energy utilisation and protein retention in fattening pigs. *Arch. Tierernähr.*, **17**, 393-407.
- HENRY Y., 1968. Libre consommation de principes énergétiques et azotés chez le rat et chez le porc selon la nature de la source azotée, sa concentration dans le régime et le mode de présentation. *Ann. Nutr. Alim.*, **22**, 121-140.

- HINTZ H. F., HEITMAN H., 1967. Amino acid and vitamin supplementation to barley cottonseed meal diets for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.*, **26**, 474-478.
- HOMB T., MATRE T., 1967. Protein and amino acids requirements of growing finishing pigs in Norway. *Ztschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.*, **23**, 129-142.
- HORNICKE H., 1961. Methods of estimating body composition of living animals with special reference to pigs. 4. Bases for calculation of body composition in the pig. *Ztschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.*, **16**, 344-366.
- JURGENS M. H., HUDMAN D. B., ADAMS C. H., PEO E. R., 1967. Influence of a dietary supplement of lysine fed at two levels of protein on growth feed efficiency and carcass characteristics of swine. *J. Anim. Sci.*, **26**, 323-327.
- KRYSIAK J., OSTROWSKI H., RYS R., 1966. Changes in the content of free amino acids in pig blood plasma after ingestion of food. *Acta. Biochim. Polon.*, **13**, 229-235.
- LODGE G. A., 1962. In *Nutrition of pigs and poultry*, Éd. Morgan J. T. et Lewis D., London, Butterworths, 224-237.
- LONG J. E., HAYS V. W., SPEER V. C., 1965. Effect of supplemental amino acids on growth and plasma amino acids concentrations of pigs. *J. Anim. Sci.*, **24**, 894-907.
- LUCAS I. A. M., 1962. In *Nutrition of pigs and poultry*, Ed. Morgan J. T. and Lewis D., London, Butterworths, 238-253.
- MANNERS M. J., MCCREA M. R., 1963. Changes in the chemical composition of sow reared piglets during the 1st month of life. *Br. J. Nutr.*, **17**, 495-513.
- MITCHELL J. R., 1965. *Effect of level of amino acid intake on the nitrogen metabolism and plasma free amino acids of the young pig*. These Univ. Illinois Ph (D).
- MITCHELL J. R., BECKER D. E., JENSEN A. A., HARMON B. G., NORTON H. W., 1964. Amino acid needs of the young pig fed a semi-synthetic diet. *J. Anim. Sci.*, **23**, 1215.
- MITCHELL J. R., BECKER D. E., JENSEN A. H., HARMON B. G., NORTON H. W., 1964. Potential of plasma free amino acids as a criterion of dietary need for certain amino acids. *J. Anim. Sci.*, **23**, 1216.
- MITCHELL J. R., BECKER D. E., HARMON B. G., NORTON H. W., JENSEN A. H., 1968. Some amino acid needs of the young pig fed a semisynthetic diet. *J. Anim. Sci.*, **27**, 1322-1326.
- MITCHELL J. R. JR, BECKER D. E., JENSEN A. H., HARMON B. G., NORTON H. W., 1968. Determination of amino acid needs of the young pig by nitrogen balance and plasma free amino acid. *J. Anim. Sci.*, **27**, 1327-1331.
- NAVRATIL B., SIMENECK K., 1963. Supplementation of pig feeds with L-lysine and DL-methionine. *Ziroc. Vyr.*, **8**, 575-584. *See. Nutr. Abstr. Rev.* 1964, **34**, n° 3343.
- NIELSON C., 1965. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm protein. *Sci.*, **150**, 1469-1476.
- N. R. C. (NATIONAL RESEARCH COUNCIL), 1968. *Nutrient requirements of swine* publ. 1599, National Academy of Sciences, Washington D. C.
- OSLAGE H. J., FLIEGEL H., 1964. In *Energy metabolism*. Ed. Blaxter K. L., Proc. 3th Symp. Troon. Acad Press, 297-306.
- PAWLAK M., PION R., 1968. Influence de la supplémentation des protéines de blé par des doses croissantes de lysine sur la teneur en acides aminés libres du sang et du muscle du rat en croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **8**, 517-530.
- PICK R. I., MEADE R. J., 1968. Availability to growing swine of lysine and isoleucine from high lysine corn. *J. Anim. Sci.*, **47**, 1778.
- PION R., DE BELSUNCE C., FAUCONNEAU G., 1963. Composition en acides aminés de quelques aliments. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 3 (h. s. 1), 11-23.
- PION R., 1965. *Données personnelles*.
- PION R., FAUCONNEAU G., 1968. In MUNRO H. N. : *Mammalian protein metabolism*, vol. 3, 508. Academic Press, New York, London.
- PION R., FAUCONNEAU G., RÉRAT A., 1964. Variation de la composition en acides aminés du sang porte au cours de la digestion chez le porc. *Ann. Biol. anim. Bioch., Biophys.*, **4**, 383-401.
- PION R., RÉRAT A., 1967. Influence d'une supplémentation en lysine sur l'évolution de l'aminocidémie porte du porc en croissance au cours de la digestion d'une ration à base de blé. *C. R. Acad. Sci.* **264**, 632-635.
- PION R., RÉRAT A., 1969. Influence de la supplémentation en lysine des protéines du tournesol sur l'aminocidémie porte du porc au cours de la digestion. *Journées de la recherche porcine en France*, I. N. R. A., Paris, 151-156.
- POPPE S., WIESEMULLER W., 1968. Studies on the amino acid requirements of growing pigs. 1. Determination of lysine requirements in nitrogen balance tests. *Arch. Tierernähr.*, **18**, 392-403.
- PUCHAL F., HAYS V. W., SPEER V. C., JONES J. D., CATRON D. V., 1962. The free blood plasma amino acids of swine as related to the source of dietary proteins. *J. Nutr.*, **76**, 11-16.
- RANHOTRA G. S., JOHNSON B. C., 1965. Effect of feeding different amino acid diets on growth rate nitrogen retention of weanling rats. *Soc. Exp. Biol. Med.*, **118**, 1197-1201.
- RÉRAT A., HENRY Y., 1967. Étude de besoin azoté chez le porc en croissance. II. Utilisation de la

- farine de poisson à des doses excessives par rapport au besoin azoté. *Ann. Zootech.*, **18**, 203-211.
- RÉRAT A., HENRY Y., 1969. (Communication personnelle).
- RÉRAT A., LOUGNON J., 1966. In *Amino acides, peptides, protéines* cahier n° 6. Alimentation Équilibrée, Commentry, 341-422.
- RICHARDSON L. R., CANNON M. L., WEBB B. D., 1965. Relation in dietary protein and lysine to free amino acids in chick tissues. *Poultry Sci.*, **44**, 248-257.
- RIPPEL R. H., 1967. Protein and amino acid nutrition of gravid swine. *J. Anim. Sci.*, **26**, 526-532.
- SALMON-LEGAGNEUR, 1965. Quelques aspects des relations nutritionnelles entre la gestation et la lactation chez la truie. *Ann. Zootech.*, **14** HS 1, 137.
- SPOLTER P. D., HARPER A. E., 1961. Leucine isoleucine antagonism in the rat. *Am. J. Physiol.*, **200**, 513-518.
- STRUNZ K., LENKEIT W., 1963. Die Stickstoff und Nucleinsäure Verteilung in Ferkelkörper unter dem Einfluss der Proteinzufuhr (vorläufige Ergebnisse) 2. DNS und RNS Gehalt in Skelettmusculatur, Herzmusculatur, Niere, Leber und Milz. *Ztschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.* **18**, 285-340.
- THORBEC G., 1968. In : *Energy metabolism of farm animals*, Proc. 4th Symposium Warsaw 1967. Ed. Blaxter K. L., Kielanowski J., Thorbek G., Oriel Press 281-289.
- TUMBLESON M. E., MEADE R. J., 1966. Effect of source and level of dietary protein on liver enzyme systems in the young pig. *J. Nutr.*, **89**, 487-494.
- TYPPO J. T., MEADE R. J., 1964. Effect of time of fast on plasma free amino acids in the growing pig. *J. Anim. Sci.*, **23**, 1220.
- VERMOREL M., 1969. Utilisation énergétique par le rat en croissance d'un maïs hybride « opaque 2 » composant un régime équilibré en acides aminés. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, **268**, 834-837.
- WIESEMULLER W., POPPE S., 1968. Studies on the amino acids requirements of growing pigs. 2. Estimation of requirements for sulfur. *Arch. Tierernähr.*, **18**, 405-415.
- WIESEMULLER W., POPPE S., 1969. Estimation of protein by determining the N balance. 4. Methods for conducting N balance studies on pigs receiving varying levels of protein. *Arch. Tierernähr.*, **19**, 132-147.
- WIESEMULLER W., POPPE S., 1969. Estimation of proteins by determining the N balance. 5. determination of true digestibility in N-balance trials with rations containing varying protein levels. *Arch. Tierernähr.*, **19**, 149-156.
- WIESEMULLER W., POPPE S., 1969. Biological value of some dietary proteins for pigs 1-N-balance trials on pigs receiving varying amount of vegetable proteins. *Arch. Tierernähr.*, **19**, 157-169.
- WIESEMULLER W., POPPE S., 1969. Biological value of some dietary proteins for pigs. 2. N-balance trials on pigs receiving varying levels of animal protein sources. *Arch. Tierernähr.*, **19**, 171-185.
- WILLIAMS H. H., CURTIN L. V., ABRAHAM J., LOOSLI J. K., MAYNARD L. A., 1964. Estimation of growth requirements for amino acids by essay of the carcass. *J. Biol. Chem.*, **208**, 277-286.
-