

Effets d'une réduction du taux de lysine dans le régime sur l'ingestion alimentaire et la croissance du porc en finition

Y Henry

INRA, station de recherches porcines, 35590 Saint-Gilles, France

(Reçu le 2 août 1994 ; accepté le 4 novembre 1994)

Résumé — L'étude des effets d'un taux suboptimal de lysine dans le régime sur la consommation spontanée d'aliment, les performances de croissance et la composition corporelle, chez le porc en finition, a fait l'objet d'une expérience réalisée sur 60 animaux des 2 sexes, femelles et mâles castrés, entre 63 et 103 kg de poids vif. Ces derniers sont affectés, par la méthode des blocs, à 3 traitements, selon la teneur en lysine et le mode d'alimentation, pour une teneur en matières azotées ajustée à 15%. Dans le traitement témoin 1, les animaux femelles et mâles castrés reçoivent respectivement 0,64 et 0,58% de lysine, taux différenciés selon leurs besoins. L'effet d'un apport suboptimal de lysine (15% en dessous du témoin : 0,54 et 0,49% respectivement pour les femelles et les mâles castrés) est analysé soit en alimentation à volonté (traitement 2), soit en ajustant le niveau d'alimentation sur celui du témoin (traitement 3) à l'intérieur de chaque bloc, sur la base du poids métabolique (poids vif, kg^{0,75}). Les résultats montrent qu'un apport suboptimal de lysine ne modifie pas significativement le niveau d'ingestion d'aliment, qu'il soit exprimé en quantité moyenne journalière ou par kg de poids métabolique. Il s'ensuit que la réduction du gain pondéral (-7,6%) s'accompagne d'une légère augmentation de l'état d'adiposité des carcasses à l'abattage (diminution du rapport tissus maigres/tissus gras). L'application aux animaux recevant un aliment déficitaire en lysine d'un plan de rationnement correspondant au niveau d'ingestion à volonté par les animaux recevant un taux optimal de lysine a provoqué une restriction alimentaire (-11%), accentuant l'effet dépressif sur la croissance (-12%). Les variations résultant des apports de lysine et d'aliment exercent des effets indépendants et additifs sur la croissance pondérale, les gains de tissus maigres et gras étant déterminés respectivement par la consommation de lysine et celle d'aliment. Le problème de l'alimentation égalisée entre traitements à un niveau correspondant à celui de l'alimentation à volonté est discuté.

porc / croissance / lysine / ingestion alimentaire / composition corporelle

Summary — **Effects of reduced dietary lysine level on voluntary feed intake and growth performance in finishing pigs.** *The effects of dietary suboptimal level of lysine on voluntary feed intake, growth performance and carcass composition, in finishing pigs, were studied in 1 experiment involving 60 pigs of both sexes, females and castrated males, between 63 and 103 kg live weight. Three treat-*

ments were compared within blocks, differing in lysine content and feeding level, with protein content in diet adjusted to 15%. In a control treatment 1, females and castrated males were fed ad libitum diets containing 0.64 and 0.58% lysine, respectively, corresponding to their differential needs for essential amino acids. The effect of a suboptimal level of lysine (15%, below the control level: 0.54 and 0.49% in females and castrated males, respectively) was tested either in ad libitum feeding (treatment 2) or according to a scale corresponding to ad libitum feed intake of control animals on the basis of metabolic weight (live weight, $\text{kg}^{0.75}$; treatment 3) within each block. The results showed that a suboptimum supply of lysine had no significant effect on voluntary feed intake, expressed either as mean daily intake or per kg metabolic weight. The reduction in live weight gain (-7.6%) was associated with a slight increase in carcass fatness at slaughter (decreased ratio between lean and fat joints). Lysine-deficient pigs, when offered the same level of feed as that of control animals, had a lower feed intake (-11%), with further decrease in live weight gain (-12%). The resulting changes in daily supplies of lysine and feed exerted independent and additive effects on live weight gain. Lean tissue gain and fat deposition were directly related to lysine and feed intakes, respectively. The problem of achieving equalized feeding between treatments at a level corresponding to ad libitum feeding was discussed.

pig / growth / lysine / feed intake / body composition

INTRODUCTION

Les relations d'équilibre entre les acides aminés du régime sont connues pour modifier plus ou moins fortement la consommation spontanée d'aliment et, par voie de conséquence, les performances de croissance chez le porc (Henry, 1985, 1988). Ainsi, pour un acide aminé limitant, comme la lysine, des teneurs extrêmes dans le sens d'un déficit ou d'un excès affectent négativement le niveau d'ingestion alimentaire et la croissance, selon une évolution de type curvilinéaire (Goodband *et al*, 1990 ; Cole, 1992), mais à des degrés divers selon le type génétique ou l'intervention d'un facteur de croissance (Hansen *et al*, 1994). Ceci explique qu'une supplémentation en lysine, en améliorant la croissance, entraîne généralement une augmentation de l'ingestion d'aliment (Henry, 1990; Henry *et al*, 1992a; Cromwell *et al*, 1993; Kornegay *et al*, 1993). De plus, aux alentours de la zone optimale pour la croissance, il a été montré (Henry, 1983, 1995) qu'un taux alimentaire suboptimal de lysine pendant le jeune âge (20-50 kg de poids vif), en dépit d'un effet dépressif sur le gain de poids, peut être associé à une consommation accrue d'aliment par unité de poids métabolique, le porc tentant

de mieux couvrir son besoin pour l'acide aminé limitant. Cette hyperphagie compensatrice est alors accompagnée d'une augmentation de l'adiposité.

La présente étude avait précisément pour objet d'analyser les effets d'un taux suboptimal de lysine dans le régime sur l'ingestion spontanée d'aliment, les performances de croissance et la composition corporelle, chez des porcs en finition alimentés à volonté. Afin de vérifier l'existence éventuelle d'une hyperphagie compensatrice provoquée par cet apport sublimitant de lysine, comme à un stade plus précoce de la croissance, l'étude était complétée en soumettant les animaux au même rationnement alimentaire que ceux recevant à volonté le régime normalement pourvu en lysine.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Animaux, régimes expérimentaux et observations

Au cours d'une période préexpérimentale, 60 porcs de race Large White, avec un nombre égal de femelles et de mâles castrés, d'un poids vif compris entre 45 et 50 kg, sont placés en loges

individuelles dans un bâtiment fermé, normalement chauffé et ventilé, et reçoivent un régime de type céréales-tourteau de soja, renfermant 17% de matières azotées (MAT) et 0,85% de lysine, suivant un plan d'alimentation correspondant à un apport de 125 g d'aliment/kg de poids métabolique (poids vif, kg^{0.75}). À un poids vif moyen initial de 63,2 ± 1,6 kg et à un âge moyen de 118 j, ils sont répartis en blocs complets équilibrés sur la base du sexe, du poids vif initial et de l'âge, dans 2 répétitions comprenant 5 blocs de chacun des 2 types sexuels. Les animaux d'un même bloc sont affectés au hasard à l'un des 3 traitements différant par la teneur en lysine de l'aliment et le niveau d'alimentation. Dans le traitement témoin 1, les porcs sont nourris à volonté d'un régime contenant 15% de MAT, avec 0,65% de lysine pour les femelles et 0,60% pour les mâles castrés, de manière à adapter le taux de lysine au besoin des animaux selon le sexe, plus faible chez les mâles castrés que chez les femelles (INRA, 1989). Dans le traitement 2, les animaux reçoivent, également à volonté, un aliment à teneur réduite en lysine (85% du témoin), soit respectivement 0,55 et 0,50% pour les femelles et les mâles castrés. Dans ces 2 traitements, on utilise un même régime de base, avec une simple supplémentation en lysine sous forme libre dans le régime témoin 1. Les animaux du traitement 3 reçoivent le même aliment que ceux du traitement 2 et sont soumis à un plan de rationnement, sur la base d'une quantité d'aliment par kg de poids vif (PV)^{0.75} équivalente, à l'intérieur d'un même bloc, à celle ingérée par les animaux correspondants du traitement témoin. À cet effet, le démarrage de l'expérience pour les animaux du traitement 3 est retardé de 1 sem par rapport aux 2 autres traitements, après avoir équilibré les poids vifs initiaux à l'intérieur de chaque bloc, mais seulement dans la première répétition.

Le régime de base est composé de maïs, de tourteau de soja et de tourteau d'arachide (tableau I). La supplémentation en lysine dans le régime 1 est compensée par un apport complémentaire de glycine pour égaliser les teneurs en MAT des 2 aliments, témoin et expérimental.

L'aliment est offert sous forme de granulés de 4,5 mm de diamètre et l'eau est disponible à volonté dans un abreuvoir automatique. Pendant l'expérience, on procède chaque semaine à la pesée des animaux et à l'enregistrement des consommations et des refus d'aliment. Les 2 répétitions se sont déroulées entre mai et août pour la première, entre juillet et novembre pour la deuxième.

La composition chimique globale des régimes expérimentaux et les teneurs en acides aminés, contrôlées par dosage (Henry *et al*, 1992), sont rapportées dans le tableau II. Les teneurs en MAT et en lysine sont proches de celles prévues initialement. Les teneurs en lysine digestible iléale vraie ont été calculées à partir des coefficients de digestibilité vraie des tables Rhône Poulenc Animal Nutrition (1993) et des résultats de dosage, en prenant en compte les parts respectives des composants protéiques dans l'apport de lysine et en attribuant à la lysine industrielle une digestibilité de 100% (Chung et Baker, 1991).

À un poids vif final avoisinant 100 kg, les animaux sont abattus après un jeûne de 16 h en moyenne. Les viscères (estomac, intestin grêle et gros intestin) sont pesés à l'état plein et vide de contenu digestif. Sur les carcasses chaudes, on procède aux mesures linéaires d'épaisseur de gras et de muscle à l'aide de l'appareil Fat-O-Meater. Après une période de ressuyage de 24 h chaque demi-carcasse gauche est fractionnée en pièces suivant la découpe parisienne normalisée (DPN : Desmoulin *et al*, 1988). Les résultats de la découpe servent aux calculs des teneurs en muscle et en gras des carcasses à partir des équations de Desmoulin *et al* (1988). Les gains journaliers de muscle et de gras dans la carcasse sont estimés à partir des quantités de muscle et de gras dans la carcasse et des quantités initiales de tissus calculées selon Karege (1991) pour des animaux provenant du même troupeau expérimental. Le dépôt journalier de protéines a été estimé à partir de la croissance pondérale et du taux de muscle (CEE) dans les carcasses à l'abattage, en utilisant les équations de prédiction établies par Guillou *et al* (1993). Le taux de muscle CEE était celui calculé selon Desmoulin *et al* (1988).

Analyse statistique des résultats

L'analyse statistique est effectuée à l'aide du logiciel SAS (1990), utilisant la procédure GLM pour les analyses de variance, de covariance et de régression. Le modèle d'analyse de variance prend en compte les effets répétition, bloc intrarépétition, sexe, traitement et l'interaction sexe x traitement. S'agissant de l'effet principal d'un dispositif en split-plot, l'effet du sexe est testé par rapport au carré moyen résiduel entre blocs. Les effets des traitements et l'interaction sexe x trai-

Tableau I. Composition des régimes expérimentaux.

	Traitement					
	1			2 et 3		
	Sexe		MC ^b	Sexe		MC ^b
F ^a		F ^a				
<i>Ingrédients (%)</i>						
Mais ^c	75,758		76,271	75,785		76,295
Tourteau de soja ^c	4,5		2	4,5		2
Tourteau d'arachide ^c	13,5		15,5	13,5		15,5
Mélasse de betterave	3		3	3		3
Phosphate bicalcique	1,1		1,1	1,1		1,1
Craie broyée	1,4		1,4	1,4		1,4
Sel marin	0,4		0,4	0,4		0,4
Mélange oligo-éléments ^d	0,1		0,1	0,1		0,1
Vitamines ^e	0,115		0,115	0,115		0,115
L-lysine HCl ^f	0,127		0,114	—		—
Glycine	—		—	0,100		0,090
Total	100		100	100		100

^a F : femelles ; ^b MC : mâles castrés. ^c Teneurs en matière sèche, matières minérales et matières azotées (% en frais), respectivement pour le maïs : 87,7 – 1,4 et 8,5 ; pour le tourteau de soja : 91,5 – 6,0 et 47,7 ; pour le tourteau d'arachide : 91,3 – 5,5 et 45,0. ^d Oligo-éléments, mg/kg de régime : sulfate de zinc, 7 H₂O, 350 ; sulfate de fer, 7 H₂O, 220, sulfate de manganèse, 50 ; sulfate de cuivre, 5 H₂O, 20 ; iodure de potassium, 0,4 ; sulfate de cobalt, 0,4 ; craie broyée qsp, 358,4. ^e Vitamines, UI ou mg/kg de régime : vit A, 5 000 UI ; vit D3, 1 000 UI ; vit E, 10 UI, vit K3, 2 mg ; thiamine, 1 mg ; riboflavine, 4 mg ; acide nicotinique, 15 mg ; pantothénate de calcium, 10 mg ; pyridoxine, 1 mg ; vit B12, 20 µg ; acide folique, 1 mg ; biotine, 0,2 mg ; choline, 500 mg. ^f 78% de lysine base.

tement sont testés par rapport au carré moyen résiduel entre animaux. L'analyse des contrastes entre traitements a été guidée par l'examen *a posteriori* des résultats. Ces derniers ayant fait apparaître dans le traitement 3 une consommation d'aliment plus faible que dans les traitements 1 et 2, ceci a conduit à distinguer l'effet de la teneur en lysine en alimentation à volonté (traitement 1 vs 2), comme il était prévu initialement, et l'effet de la restriction alimentaire pour une même teneur suboptimale en lysine (traitement 2 vs 3). Dans l'étude des variations des gains journaliers de poids vif, de muscle, de gras et de protéines, un modèle d'analyse de covariance a été adopté, incluant les effets répétition, bloc intra-répétition et sexe, avec comme covariables les consommations journalières d'aliment et de lysine, et en considérant les effets d'interaction entre

elles 2 et avec le sexe. En l'absence d'effet du sexe et d'effet d'interaction pour ces différents critères, il a été procédé, pour l'ensemble des animaux, femelles et mâles castrés, à une analyse de régression sur la consommation journalière d'aliment et celle de lysine digestible. Par ailleurs, à partir des enregistrements hebdomadaires de croissance et des données cumulées de consommation, il a été possible, pour chaque animal, de calculer par régression le gain pondéral par jour ou rapporté à la consommation d'aliment ou de lysine digestible, après s'être assuré de la linéarité de la réponse. Ces données estimées ont été ensuite traitées par l'analyse de variance, suivant le même modèle que celui présenté précédemment. Dans toutes ces analyses, les seuils de signification sont considérés jusqu'à la limite de $P < 0,10$.

Tableau II. Résultats d'analyse chimique des régimes (% aliment frais).

	Traitement					
	1		2 et 3			
	Sexe		Sexe		Sexe	
F ^a	MC ^b	F ^a	MC ^b	F ^a	MC ^b	
Matière sèche	88,1	88,0	88,2	88,3		
Matières minérales	4,2	4,2	4,3	4,4		
Matières azotées (N x 6,25)	15,1	15,1	15,2	15,1		
Acides aminés totaux						
Lysine	0,64	0,58	0,54	0,49		
Thréonine ^c	0,49	0,46	0,49	0,46		
Méthionine ^c	0,23	0,22	0,23	0,22		
Méthionine + cystine ^c	0,49	0,48	0,49	0,48		
Tryptophane ^c	0,13	0,13	0,13	0,13		
Lysine digestible vraie ^d	0,56	0,50	0,46	0,41		

^a F : femelles ; ^b MC : mâles castrés. ^c Teneurs calculées à partir des tables INRA (1989). ^d Teneurs estimées à partir des coefficients de digestibilité vraie donnés par les tables Rhône Poulenc Animal Nutrition (1993), et en considérant que la lysine industrielle est digestible à 100%.

RÉSULTATS

Étant rationnés, à l'intérieur de chaque bloc, au même niveau d'apport alimentaire par unité de poids métabolique que leurs homologues du traitement 1, les animaux du traitement 3, recevant un aliment à teneur réduite en lysine, ont en fait un niveau d'ingestion d'aliment abaissé de 10%, bien que ce dernier soit mis à leur disposition dès la distribution en début de matinée. Il en est de même par rapport aux animaux du traitement 2 qui, recevant le même régime à teneur réduite en lysine, étaient alimentés constamment à volonté. Par rapport aux quantités d'aliment offertes, l'écart de consommation correspond précisément à l'enregistrement des refus ($0,35 \pm 0,27$ kg en moyenne, soit 11% des quantités offertes), ce qui permet d'écartier l'hypothèse de différences de gaspillage. Les refus d'aliment sont notés dès la première semaine chez 9 animaux sur

20 dans le traitement 3, représentant en moyenne 12% des quantités offertes. Il en est résulté une vitesse de croissance plus faible (908 g/j) que celle de leurs homologues du traitement 1 (1 071 g/j). Cette réduction du poids des animaux du traitement 3 dès la première semaine (-1,1 kg) a constitué un handicap supplémentaire pour leur rationnement sur la base du poids métabolique. Par ailleurs, la forte variabilité des refus entre animaux (un seul sans refus) a entraîné une accentuation de la variabilité de la consommation effective d'aliment dans le traitement 3 (13,6% de coefficient de variation) par rapport aux traitements 1 (11,0%) et 2 (10,9%). Il en est de même au niveau de la vitesse de croissance : 16,4% de coefficient de variation dans le traitement 3, comparativement à 10,5 et 12,8% respectivement dans les traitements 1 et 2.

Comme la teneur en lysine du régime était ajustée en fonction du potentiel de

dépôt de tissus maigres, plus élevé chez les femelles que chez les mâles castrés, il n'existe, pour aucun des critères, qu'il s'agisse des performances de croissance, de la composition corporelle ou des dépôts tissulaires, aucune interaction entre le sexe et les traitements. Les résultats sont ainsi rapportés en regroupant les 2 sexes.

Performances de croissance

Une réduction de la teneur en lysine du régime de 15% (tableau III : traitement 1 vs 2) exerce un effet dépressif sur la vitesse de croissance ($P < 0,01$), qui diminue de 7,6%. La même constatation est faite lorsqu'on compare les résultats de gain pondéral obtenu par régression du poids vif sur le temps. L'apport suboptimal de lysine est sans effet sur l'ingestion alimentaire, dans les conditions d'alimentation selon l'appétit, suivant qu'elle est exprimée en quantité moyenne journalière ou par kg de poids métabolique ($PV^{0.75}$). Il s'ensuit que l'efficacité alimentaire, comme la vitesse de croissance, est également abaissée par une déficience en lysine.

La restriction alimentaire (-9% dans le traitement 3 par rapport au traitement 2, à même teneur en lysine) a pour effet de réduire le gain moyen pondéral (-11,7%). L'efficacité alimentaire moyenne (gain/aliment ingéré) n'est pas affectée. Toutefois, après estimation de cette dernière par régression du gain cumulé sur la consommation cumulée d'aliment pour chaque animal (efficacité alimentaire marginale intra-animal), on observe un effet dépressif de la restriction alimentaire ($P < 0,05$).

Le calcul du gain pondéral par g de lysine digestible ingérée, par régression intra-animal du gain de poids cumulé sur la quantité cumulée de lysine digestible, ne fait apparaître aucune influence ni de la teneur en lysine ni de la restriction alimentaire. La prise de poids moyenne observée est de

63,4 ou 65,1 g par g de lysine digestible ingérée, selon que la régression est opérée avec ou sans ordonnée à l'origine (non significativement différente de zéro pour l'ensemble des animaux).

La comparaison des sexes fait ressortir, chez les mâles castrés, une croissance plus rapide que chez les femelles (+12% : $P < 0,05$), une consommation d'aliment plus importante (+15% : $P < 0,001$), et une efficacité alimentaire plus faible (-3% : $P < 0,10$). Aucune différence n'est observée pour le gain de poids par g de lysine digestible ingérée.

Composition corporelle

La longueur totale de la carcasse est légèrement augmentée, quoique d'une façon non significative ($P = 0,15$), sous l'effet d'un apport suboptimal de lysine (tableau IV). La diminution du taux alimentaire de lysine fait augmenter le poids de la tête ($P < 0,10$) et celui du gros intestin vide ($P < 0,05$), après ajustement par covariance respectivement sur le poids vif final et le poids de la carcasse chaude. Les épaisseurs de gras et de muscle, de même que les poids des morceaux de découpe, ne sont pas affectés significativement par le déficit de lysine. La légère diminution du rapport longe/bardière (ou muscle/gras) n'atteint pas le seuil de signification ($P = 0,19$).

La restriction alimentaire (traitement 2 vs 3) a pour effet de réduire le poids des morceaux gras (bardière, panne et poitrine : $P < 0,10$), en même temps que l'épaisseur du lard dorsal à la fente ($X1$: $P = 0,10$). Il en résulte une augmentation du rapport longe/bardière ($P < 0,10$). Le poids de la tête est également augmenté sous l'effet d'une restriction alimentaire.

L'effet du sexe sur la composition corporelle fait apparaître le résultat classique d'une adiposité plus grande chez les mâles castrés que chez les femelles.

Tableau III. Résultats de croissance et d'efficacité alimentaire ^a.

	Traitement			Sexe		ETM ^c	Contrastes P = ^d		
	1	2	3	F	MC		Sexe	Lysine	Restr. alim
	Lysine totale (%) ^b								
	0,64-0,58	0,54-0,49	0,54-0,49						
	Niveau alimentaire								
	À volonté	À volonté	Restreint						
Poids vif initial (kg) ^e	61,7	61,4	63,7	61,3	63,2	1,6*			
Poids vif final (kg)	102,7	103,9	102,6	102,7	103,4	2,35*			
Durée (j)	41,3	46,3	48,4	48,5	42,1	3,7*			
Gain moy/j (g)	1005	929	820	868	968	18,8	0,021	0,0068	
Gain moy/j (g) par régression ^f	1007	938	822	873	971	17,4	0,017	0,0080	
Aliment ingéré/j (kg)	3,27	3,22	2,93	2,92	3,37	0,050	0,0004	0,0003	
Aliment ingéré/kg PV ^{0,75} (g) ^g	120	118	107	107	122	1,8	0,0007	0,0002	
Gain/aliment	0,308	0,288	0,279	0,297	0,287	0,0044	-	0,0038	
Gain/aliment par régression ^h	0,309	0,293	0,278	0,299	0,288	0,0043	0,096	0,011	
Gain pondéral (g)/g lysine digestible ⁱ	64,6	62,9	62,7	63,3	63,5	1,3	-	-	

^a 20 animaux par traitement (10 femelles ; F ; 10 mâles castrés ; MC). ^b Teneurs respectives pour les femelles et les mâles castrés. ^c Écart type de la moyenne ; l'astérisque désigne la valeur de l'écart type. ^d Effet lysine : traitement 1 vs 2 ; effet restriction alimentaire : traitement 2 vs 3. Pas d'interaction sexe x traitement pour aucun des critères. ^e La valeur légèrement plus élevée du poids vif initial dans le traitement 3 (répétition 2) n'avait, après analyse de covariance, aucune incidence sur les performances de croissance. ^f Pente de la droite de régression du poids vif sur la durée par animal. Ordonnée à l'origine non différente de 0 ($P > 0,05$), sauf pour un animal. ^g À partir du poids métabolique calculé selon Foster *et al* (1983) et de Haer *et al* (1993), compte tenu de l'accroissement linéaire du poids vif avec le temps entre le début et la fin de l'essai : $PV_{1,75} - PV_{1,75}/1,75 \cdot (PV_f - PV_i)$, PV_i et PV_f étant respectivement les poids vifs initial et final. ^h Données obtenues, pour chaque animal, par régression du gain de poids vif cumulé sur la consommation cumulée d'aliment. Ordonnée à l'origine non différente de 0 ($P > 0,05$), sauf pour un animal. ⁱ Gain obtenu, pour chaque animal, par régression du gain de poids vif cumulé sur la consommation cumulée de lysine digestible. Ordonnée à l'origine non différente de 0 ($P > 0,05$), sauf pour un animal.

Tableau IV. Résultats de composition corporelle ^a.

	Traitement			Sexe		ETM ^c	Contrastes P = d		
	1	2	3	F	MC		Sexe	Lysine	Restr alim
	Lysine totale (%) ^b								
	0,64-0,58	0,54-0,49	0,54-0,49						
	Niveau alimentaire								
	À volonté			Restreint					
Poids carcasse (kg) ^e	84,8	85,4	84,9	84,5	85,5	2,1*			
Longueur (cm) ^e									
Totale	103,1	104,5	104,9	105,1	103,2	0,68			
Restreinte	85,1	85,8	85,7	86,1	84,8	0,49	0,0071	-	-
Poids tête (kg) ^f	4,74	4,86	5,03	4,90	4,85	0,052	0,021	-	-
Contenus digestifs (kg) ^f	2,65	2,52	2,57	2,59	2,57	0,15	-	0,065	0,096
Gros intestin vide (kg) ^g	1,76	1,86	1,73	1,77	1,80	0,044	-	-	-
Ép du lard dorsal (mm) ^h								0,046	-
X1	27,5	28,6	25,7	25,8	28,7	1,2	0,045	-	0,10
X2	33,0	33,6	31,2	31,4	33,8	1,1	0,067	-	-
X4	28,1	28,9	27,7	26,2	30,2	0,9	0,0080	-	-
Ép de muscle X5 (mm) ^h	52,1	50,2	51,1	52,4	49,8	0,97	0,029	-	-
Poids morceaux de découpe (kg) ⁱ									
Jambon	8,56	8,56	8,68	8,71	8,49	0,075	0,042	-	-
Longe	11,74	11,56	11,84	11,92	11,51	0,13	0,014	-	-
Bardière	5,78	6,04	5,65	5,52	6,13	0,15	0,0005	-	0,084
Panne	0,872	0,859	0,791	0,842	0,839	0,026	-	-	0,072
Poitrine	4,54	4,60	4,42	4,61	4,43	0,067	0,084	-	0,066
Hachage	6,24	6,16	6,24	6,13	6,30	0,061	0,039	-	-
Longe/bardière	2,09	1,95	2,15	2,23	1,89	0,073	0,0001	-	0,058

^a 20 animaux par traitement (10 femelles ; F ; 10 mâles castrés ; MC). Poids vif moyen final : 103,1 ± 2,4 kg. ^b Teneurs respectives pour les femelles et les mâles castrés. ^c écart type de la moyenne ; l'astérisque désigne la valeur de l'écart type. ^d Effet lysine : traitement 1 vs 2 ; effet restriction alimentaire : traitement 2 vs 3. Pas d'interaction sexe x traitement pour aucun des critères. ^e Carcasse chaude. Rendement moyen (% poids vif) : 82,5 ± 1,4. Longueur totale de la carcasse entre l'atlas et le bord antérieur de la symphyse pubienne ; longueur restreinte entre le bord antérieur de la symphyse pubienne et le milieu de la 1^{re} côte. Moyennes ajustées après covariance en fonction du poids vif final. ^f Moyennes ajustées après covariance en fonction du poids de la carcasse chaude. Poids moyen des viscères vidés : 4,09 ± 0,36 kg ; estomac vide : 0,608 ± 0,074 kg ; intestin grêle vide : 1,70 ± 0,19 kg. ^g Mesures effectuées à l'aide du Fat-O-Meater : X1, épaisseur de gras sur la fente au niveau du muscle *Gluteus medius* ; X2, épaisseur de gras latéral, à 8 cm de la fente, entre les 3^e et 4^e vertèbres lombaires ; X4, épaisseur de gras latéral, à 6 cm de la fente, entre les 3^e et 4^e côtes, comptées à partir de la dernière côte ; X5, épaisseur du muscle Long dorsal au même site que la mesure X4. ^h Poids des morceaux dans la demi-carcasse gauche découpée. Moyennes ajustées après covariance en fonction du poids de la demi-carcasse gauche découpée : en moyenne 39,2 ± 1,1 kg.

Composition tissulaire des carcasses et gains de tissus

Les teneurs en muscle et en gras des carcasses (tableau V) ne sont pas affectées significativement par le taux de lysine dans le régime ($P > 0,10$). En revanche, la restriction alimentaire entraîne une diminution de la teneur en gras ($P < 0,05$), avec une tendance à une diminution du poids final de gras ($P = 0,11$). Cet effet est compensé par une augmentation du taux et du poids de muscle au même poids à l'abattage (respectivement $P < 0,10$ et $P < 0,05$). Le gain journalier de muscle est affecté négativement par le déficit de lysine ($P < 0,05$), tandis que la restriction alimentaire a pour effet de diminuer le dépôt de gras ($P < 0,05$).

Relations entre les performances de croissance et les consommations d'aliment et de lysine

L'analyse de la covariance des performances de croissance (gain moyen pondéral, dépôts journaliers de muscle et de gras, dépôt journalier de protéines) en fonction des consommations moyennes journalières d'aliment et de lysine digestible ne fait apparaître aucun effet significatif pour le sexe, ni pour l'interaction entre la consommation d'aliment et celle de lysine, ou entre celles-ci et le sexe, ce qui tend à signifier une certaine additivité de leurs effets sur les performances de croissance.

En l'absence d'effet du sexe ou d'interaction entre les consommations d'aliment et de lysine, il a été procédé, pour chacun des critères, à l'analyse de la régression sur ces 2 variables (tableau VI), compte tenu de la linéarité de la réponse de croissance en fonction de l'apport de lysine ($P = 0,11$ pour le terme quadratique). Les variations du gain moyen pondéral entre animaux sur l'ensemble des traitements sont

expliquées à la fois par les consommations de lysine et d'aliment, à raison de 22,7 g de gain par g de lysine digestible et 206 g par kg d'aliment (efficacités marginales de la lysine et de l'aliment supplémentaires). Le gain de muscle est seulement dépendant de la teneur en lysine digestible (7,5 g/g), tandis que le dépôt de gras est expliqué uniquement par la consommation d'aliment (156 g/kg). Le calcul de la régression de la quantité de protéines fixées/j sur la consommation de lysine digestible/j dans les 3 traitements conduit à une estimation de l'accroissement du dépôt de 6,6 g/g de lysine digestible vraie. Cette estimation est plus précise que celle obtenue par la régression double du gain pondéral sur les consommations d'aliment et de lysine, les coefficients de variation résiduelle s'élevant respectivement à 10,6 et 22,5%. Le choix du gain de muscle comme critère de prédiction de la réponse à l'apport de lysine aboutit à une précision encore plus faible, avec un coefficient de variation résiduelle de 31%.

DISCUSSION

Apport suboptimal de lysine et ingestion alimentaire : conséquences sur la croissance et la composition corporelle

Le taux optimal de lysine pour la croissance du porc en finition avait été ajusté en tenant compte d'un besoin plus élevé chez les femelles que chez les mâles castrés (Henry *et al*, 1988), les apports étant ainsi fixés respectivement à 0,65 et 0,60% de l'aliment. Ceci a permis d'éviter l'interaction prévisible entre le sexe et la teneur en lysine de l'aliment au niveau des performances de croissance (Henry *et al*, 1971 ; Cromwell *et al*, 1993). Les résultats de la présente étude montrent que le porc réagit à un taux suboptimal de lysine en maintenant le même niveau d'ingestion d'aliment, par jour ou par

Tableau V. Composition tissulaire des carcasses et gains de tissus ^a.

	Traitement		Sexe		ETM ^c	Contrastes P = ^d		
	1	2	3			Sexe	Lysine	Restr alim
	Lysine totale (%) ^b		F	MC				
	0,64-0,58	0,54-0,49	0,54-0,49					
Niveau alimentaire								
À volonté	À volonté	Restreint						
Muscle (% carcasse) ^e	47,4	46,9	48,3	48,7	48,4	0,0011	-	
Gras (% carcasse) ^e	31,2	32,3	30,0	29,8	32,5	0,0011	-	
Poids de muscle (kg) ^f	37,04	36,57	37,54	37,86	36,24	0,0033	-	
Poids de gras (kg) ^f	24,46	25,12	23,47	23,48	25,22	0,0046	-	
Gain de muscle/j (g) ^g	269	237	223	234	252	-	0,011	
Dépôt de gras/j (g) ^g	314	303	243	253	320	0,0007	-	
Dépôt de protéines/j (g) ^h	151	139	125	132	144	0,040	0,0025	
						0,53	0,064	
						0,74	0,035	
						0,41	0,11	
						0,56	0,048	
						8,6	-	
						16,4	0,013	
						2,7	0,0007	

^a 20 animaux par traitement (10 femelles : F ; 10 mâles castrés : MC). ^b Teneurs respectives pour les femelles et les mâles castrés. ^c ETM : écart type de la moyenne. ^d Effet lysine : traitement 1 vs 2 ; effet restriction alimentaire : traitement 2 vs 3. Pas d'interaction sexe x traitement pour aucun des critères. ^e Les poids de muscle et de gras dans la demi-carcasse découpée sont estimés à partir des poids des morceaux de découpe, à l'aide des équations de Desmoulin *et al* (1988). ^f Moyennes ajustées après covariation en fonction du poids de la carcasse chaude : 85,0 kg en moyenne. ^g Valeurs estimées à partir des quantités initiales de muscle et de gras selon Karege (1991). ^h Valeurs estimées à partir du modèle de calcul établi par Guillou *et al* (1993).

Tableau VI. Régression linéaire du gain moyen pondéral, du gain de muscle et du dépôt de gras sur les consommations moyennes journalières d'aliment et de lysine digestible vraie ^a.

Critère	Ordonnée à l'origine	Pente de la régression ^b		R ²
		Aliment/j (g)	Lysine digestible/j (g)	
Gain moyen/j (g) ^c	-63,10 (±68,1)	206,2 (±30,3)	22,7 (±5,1)	0,795
P =	NS	0,0001	0,0001	
Gain de muscle/j (g) ^d	132,3 (±34,5)	-	7,5 (±2,3)	0,153
P =	0,0003	NS	0,0020	
Dépôt de gras/j (g) ^e	-204,0 (±58,1)	156,1 (±18,4)	-	0,555
P =	0,0009	0,0001	NS	
Protéines fixées/j (g) ^f	41,8 (±10,0)	-	6,6 (±0,7)	0,620
P =	0,0001		0,0001	

^a Effectif total de 60 animaux. Consommations d'aliment/j variant entre les valeurs extrêmes de 2,32 et 3,95 kg ; et pour la lysine digestible, entre 10,7 et 19,7 g/j. ^b Aucun effet du sexe, ni aucun effet d'interaction consommation d'aliment x consommation de lysine, sexe x consommation d'aliment, sexe x consommation de lysine. NS : effet non significatif au seuil $P = 0,10$. ^c Effet non significatif ($P = 0,11$) du terme quadratique en réponse à l'apport de lysine. ^d Effet non significatif de la consommation d'aliment/j. ^e Effet non significatif de la consommation de lysine/j. ^f Calculées à partir de l'équation de prédiction de Guillou *et al* (1993) donnant la quantité de protéines corporelles en fonction du poids vif vide et de la teneur en muscle des carcasses à l'abattage à 100 kg. Régression simple sur la consommation de lysine, l'effet de la consommation d'aliment étant également significatif ($P = 0,0001$).

kg de poids métabolique, que celui d'animaux normalement alimentés en lysine. Ce faisant, on n'observe pas, chez le porc en finition, le phénomène d'hyperphagie compensatrice décrit antérieurement à un stade plus précoce de la croissance, entre 20 et 50 kg de poids vif (Henry, 1995), en réaction à un taux réduit de lysine, comme dans d'autres espèces animales, telles les volailles (Boorman, 1979). Quoiqu'il en soit, le dépôt de tissu protéique étant réduit par un apport plus faible de lysine, une part plus grande de l'aliment consommé au dessus de l'entretien est utilisée pour un dépôt de gras accru, entraînant ainsi une diminution du rapport maigre/gras dans la carcasse.

On peut en déduire qu'un apport suboptimal de lysine chez le porc, tout au moins dans les limites indiquées (-15% du taux optimum), n'affecte pas le niveau d'ingestion d'aliment par unité de poids métabolique, en dépit d'une réduction de la vitesse de croissance, ce qui a pour conséquence un accroissement de l'adiposité dans les conditions de l'alimentation à volonté. Il semble ainsi que la tendance du porc à régler partiellement sa consommation d'aliment pour mieux satisfaire son besoin en acide aminé limitant, en l'occurrence la lysine (Henry, 1985), doit être nuancée, la tendance à l'hyperphagie compensatrice pouvant être plus ou moins marquée selon

le niveau du déficit alimentaire de lysine ou selon l'intensité du développement musculaire au cours de la croissance. Il en va cependant différemment pour d'autres acides aminés, comme le tryptophane qui, à un taux suboptimal pour la croissance, exerce un effet spécifique et dépressif sur l'appétit, encore plus marqué en présence d'un excès de protéines sous la forme d'acides aminés neutres de grande taille (Henry *et al*, 1992b ; Henry, 1995).

L'égalisation du niveau d'alimentation dans le traitement 3, à taux réduit de lysine, sur celui du traitement 1, normalement pourvu en cet acide aminé, avait pour but de vérifier l'existence d'une éventuelle hyperphagie consécutive à la réduction de la teneur en lysine sur les performances de croissance. En réalité, les résultats ont fait ressortir la difficulté d'appliquer une alimentation égalisée («*paired feeding*») sur la base du poids vif, par référence à un animal témoin d'un même bloc alimenté à volonté. En raison de la variabilité de la consommation spontanée d'aliment entre animaux ($\pm 11\%$), il est clair que les niveaux élevés d'ingestion du groupe témoin 1 n'ont pu être atteints par la moitié environ des porcs homologues du groupe 3 au début de l'expérience, de sorte que le rationnement établi en fonction du poids vif s'est traduit dès le départ par une consommation d'aliment plus faible dans le traitement 3 que dans les traitements 1 et 2, où les porcs étaient tous alimentés selon leur appétit. Bien évidemment, la constitution de blocs d'animaux homogènes sur le plan de l'appétit aurait sans doute contribué à mieux atteindre l'objectif visé. Néanmoins, cela montre la difficulté d'appliquer une alimentation égalisée entre traitements à un niveau d'alimentation très proche du niveau d'ingestion spontanée.

En raison de la linéarité de la réponse de croissance intra-animal en fonction de

l'âge, il est logique d'observer des valeurs très voisines pour le gain moyen pondéral ou l'efficacité alimentaire, suivant que l'on considère les valeurs moyennes sur l'ensemble de la période expérimentale ou celles obtenues par régression sur le temps ou la quantité ingérée pour chaque animal. Dans le cas du calcul par régression, on note cependant une légère diminution de l'écart type résiduel, ce qui a pour conséquence de mieux faire ressortir la signification statistique des résultats, comme c'est le cas pour l'effet de la restriction d'aliment sur l'efficacité alimentaire. Par ailleurs, l'accroissement linéaire du poids vif en fonction de l'âge justifie le calcul de la consommation journalière d'aliment par kg de poids vif^{0,75} suivant la méthode proposée par Foster *et al* (1983) et De Haer *et al* (1993).

La tendance à l'allongement des carcasses à un même poids d'abattage dans les traitements 2 et 3 comparativement au traitement témoin 1 semble confirmer nos observations précédentes concluant à un développement plus important en longueur sous l'effet d'un apport limitant de lysine (Henry, 1995) ou d'une restriction alimentaire (Bourdon et Henry, 1991). En même temps, l'augmentation du poids de la tête et de celui du tractus digestif (gros intestin) au même poids d'abattage de 100 kg indique que le développement précoce et prioritaire de ces compartiments corporels (Fowler, 1980) n'a pas été affecté par le déficit de lysine. À l'inverse, comme nous l'avons rapporté par ailleurs (Henry, 1993), une amélioration de l'équilibre en acides aminés, comme une élévation du niveau d'alimentation, contribue, en période de croissance, à favoriser le développement des régions corporelles les plus précoces (jambon, poitrine), en produisant des carcasses plus courtes et plus compactes au même poids d'abattage, quel que soit l'aliment distribué en finition.

Additivité des effets des consommations d'aliment et de lysine

L'absence d'interaction entre les consommations journalières d'aliment et de lysine sur le gain moyen pondéral et les dépôts de tissus (muscle, gras), dans l'analyse de covariance, nous incite à conclure à une certaine additivité et donc à une certaine indépendance de leurs effets, bien que dans l'analyse globale l'effet du sexe soit partiellement confondu avec ceux dus aux variations des consommations d'aliment et de lysine. Alors que le gain de muscle ou de protéines est en relation directe avec l'apport de lysine, lorsque ce dernier est limitant, le dépôt de gras est sous la dépendance de la quantité d'aliment (ou d'énergie) ingérée. Il en découle que les variations du gain pondéral sont expliquées à la fois par les consommations d'aliment et de lysine. Ces résultats sont en accord avec les données de la bibliographie, faisant apparaître une relation linéaire entre le dépôt de protéines corporelles et l'apport de protéines ou d'acide aminé limitant (lysine) jusqu'à une valeur fixée par le niveau de l'apport énergétique ou le potentiel de croissance, suivant une réponse du type linéaire-plateau (Campbell, 1988 ; Chiba *et al*, 1991a, b ; Cole, 1992 ; Kyriazakis et Emmans, 1992a, b ; Edwards et Campbell, 1993 ; Susenbeth *et al*, 1993 ; Bikker *et al*, 1994 ; Dourmad *et al*, 1995). L'estimation par régression intra-animal de la réponse de croissance à l'apport de lysine a donné une valeur (65 g de gain par g de lysine) indépendante des traitements et du facteur animal, et nettement supérieure à celle obtenue par régression entre animaux (23 g par g de lysine). Cela montre que pour l'ensemble des animaux et pour les 3 traitements la réponse de croissance à l'apport cumulé de lysine intra-animal se situait en dessous des possibilités de croissance maximale. En revanche, lorsque la relation est établie entre animaux, la réponse est amortie par les variations

individuelles d'ingestion alimentaire et de potentiel de croissance, ceci d'autant plus que la réponse à l'apport de lysine tendait vers la curvilinearité.

En accord avec des observations antérieures (Cole *et al*, 1980 ; Bourdon et Henry, 1988 ; Chiba *et al*, 1991a, b ; Dourmad *et al*, 1995), nos résultats montrent que les 2 types sexuels, femelles et mâles castrés, répondent de la même façon à l'apport de lysine en termes de croissance musculaire (gain de muscle ou de protéines), la différence se situant au niveau du potentiel de dépôt maximum de tissus maigres, plus élevé chez les femelles que chez les mâles castrés.

Le calcul des dépôts de muscle et de gras à partir des quantités finales après resuyage dans la carcasse sans tête, à l'aide d'une équation utilisant les résultats de la découpe, et des quantités initiales par un moyen de prévision indépendant, a pu conduire à leur sous-estimation, si l'on en juge par le niveau des performances réalisées (918 g de gain en moyenne) et par l'importance des dépôts de protéines calculés (140 g/j en moyenne). Quoi qu'il en soit, les valeurs observées reflètent les variations dues aux effets des traitements (taux suboptimal de lysine et restriction alimentaire).

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude confirment, à l'appui de travaux précédents, que l'application, au porc en finition, d'un taux suboptimal de lysine (-15% par rapport au taux optimum pour la croissance) n'affecte pas la consommation spontanée d'aliment, qu'elle soit exprimée en quantité moyenne journalière ou par unité de poids métabolique (poids vif^{0,75}). On ne retrouve pas le phénomène d'hyperphagie compensatrice parfois observé à un stade plus précoce de la croissance, mais le maintien de l'ingestion

d'aliment à un même niveau au dessus de l'entretien pour une croissance réduite entraîne une légère accentuation de l'état d'adiposité des carcasses à l'abattage. En deuxième lieu, les variations des niveaux des apports de lysine et d'aliment, sous l'influence d'une restriction alimentaire, font apparaître une certaine indépendance de leurs effets sur la croissance pondérale, les gains de tissus maigres et de gras étant en relation respectivement avec les consommations de lysine et d'aliment.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le personnel de la station de recherches porcines pour sa collaboration à l'expérimentation, G Conseil, M Lemarié, A Amet, Y Bénard et JC Rissel pour l'expérimentation sur animaux ; L Jaffrennou, M Alix, H Renoux et P Surel pour les observations à l'abattage ; N Mézière pour l'analyse des régimes et Y Colléaux pour les dosages des acides aminés.

RÉFÉRENCES

- Bikker P, Verstegen MWA, Campbell RG, Kemp B (1994) Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. *J Anim Sci* 72, 1744-1753
- Boorman KN (1979) Regulation of protein and amino acid intake. In : *Food intake regulation in poultry* (KN Boorman, BM Freeman, eds), Brit Poult Sci Ltd, Edinburgh, UK, 87-126
- Bourdon D, Henry Y (1988) Besoin en lysine, selon le sexe, du porc à volonte. *Journées Rech Porcine en France* 20, 409-414
- Bourdon D, Henry Y (1991) Réponse du porc en finition à la supplémentation du régime en lysine, en fonction du niveau de rationnement et selon le sexe. *Journées Rech Porcine en France* 23, 111-118
- Campbell RG (1988) Nutritional constraints to lean tissue accretion in farm animals. *Nutr Res Rev* 1, 233-253
- Chiba LI, Lewis AJ, Peo ER Jr (1991a) Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms. I. Rate and efficiency of weight gain. *J Anim Sci* 69, 694-707
- Chiba LI, Lewis AJ, Peo ER Jr (1991b) Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms. II. Rate and efficiency of protein and fat deposition. *J Anim Sci* 69, 708-718
- Chung TK, Baker DH (1991) A chemically defined diet for maximal growth of pigs. *J Nutr* 121, 979-984
- Cole DJA (1992) Interaction between energy and amino acid balance. In : *Porc 2nd Internat Feed Production Conference* (G Piva, ed), Piacenza, 209-228
- Cole DJA, Yen HT, Lewis D (1980) The lysine requirements of growing and finishing pigs – The concept of an ideal protein. In : *Protein metabolism and nutrition* (HJ Oslage, K Rohr, eds), Braunschweig, EAAP Publication N° 27, II, 658-671
- Cromwell GL, Cline TR, Crenshaw JD *et al* (1993) The dietary protein and (or) lysine requirements of barrows and gilts. *J Anim Sci* 71, 1510-1519
- De Haer LCM, Luiting P, Aarts HLM (1993) Relations among individuals (residual) feed intake, growth performance and feed intake pattern of growing pigs in group housing. *Livest Prod Sci* 36, 223-253
- Desmoulin B, Écolan P, Bonneau M (1988) Estimation de la composition tissulaire des carcasses de porcs : récapitulatif de diverses méthodes utilisables en expérimentation. *INRA Prod Anim* 1, 59-64
- Dourmad JY, Guillou D, Sève B, Henry Y (1995) Influence de l'apport de lysine sur les performances du porc en finition. *Journées Rech Porcine en France* 27, 253-259
- Edwards AC, Campbell RG (1993) Energy – protein interactions in pigs. In : *Recent developments in pig production N° 2* (DJA Cole, W Haresign, PC Garnsworthy, eds), Nottingham University Press, UK, 30-46
- Foster WH, Kilpatrick DJ, Heaney IH (1983) Genetic variation in the efficiency of energy utilization by the fattening pig. *Anim Prod* 37, 387-393
- Fowler VR (1980) Growth in mammals for meat production. In : *Growth in animals* (TLJ Lawrence, ed), Butterworths, London, UK, 249-263
- Goodband RD, Nelssen JL, Hines RH *et al* (1990) The effects of porcine somatotropin and dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of finishing swine. *J Anim Sci* 68, 3261-3276
- Guillou D, Dourmad JY, Noblet J (1993) Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais. *Journées Rech Porcine en France* 25, 307-313
- Hansen JA, Nelssen JL, Goodband RD, Laurin JL (1994) Interactive effects among porcine somatotropin, the beta-adrenergic agonist salbutamol, and dietary lysine on growth performance and nitrogen balance of finishing swine. *J Anim Sci* 72, 1540-1547
- Henry Y (1983) The effects of the dietary levels of lysine, threonine and tryptophan on the voluntary feed intake in the growing pig. In : *4^e Symposium International sur le métabolisme et la nutrition azotés* (R Pion, M Arnal, D Bonin, eds), Les Colloques de l'INRA, n° 16, vol II, INRA, Paris, 407-410

- Henry Y (1985) Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: a review. *Livest Prod Sci* 12, 339-354
- Henry Y (1988) Signification de la protéine équilibrée pour le porc : intérêt et limites. *INRA Prod Anim* 1, 65-74
- Henry Y (1990) Influence des taux de protéines et de lysine du régime sur l'ingestion alimentaire, les performances de croissance et la composition corporelle chez le porc en finition. *Journées Rech Porcine en France* 22, 193-199
- Henry Y (1993) Alimentation du porc pour la production de viande maigre : évolutions récentes et perspectives. *INRA Prod Anim* 6, 31-45
- Henry Y (1995) Influence d'un déficit ou d'un déséquilibre alimentaire en acides aminés pendant une phase initiale de la croissance sur les performances du porc en finition. *Ann Zootech* 44, 3-28
- Henry Y, Rérat A, Tomassone R (1971) Étude du besoin en lysine du porc en croissance-finition. Application de l'analyse multidimensionnelle. *Ann Zootech* 20, 521-550
- Henry Y, Arnal A, Obled C, Rérat A (1988) Protein and amino acid requirements of pigs. *Wiss Z Univ Rostock* 37 (1), S 9-18
- Henry Y, Colléaux Y, Sève B (1992a) Effects of dietary level of lysine and of level and source of protein on feed intake, growth performance, and plasma amino acid pattern in the finishing pig. *J Anim Sci* 70, 188-195
- Henry Y, Sève B, Colléaux Y, Ganier P, Saligaut C, Jégo P (1992b) Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma free amino acids and hypothalamic serotonin. *J Anim Sci* 70, 1873-1887
- INRA (1989) *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. INRA, Paris, 2e édition, 282 p
- Karege C (1991) Influence de l'âge et du sexe sur l'utilisation de l'énergie et la composition corporelle chez le porc en croissance. Thèse, univ Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, 254 p
- Kornegay ET, Lindemann MD, Ravindran V (1993) Effects of dietary lysine levels on performance and immune response of weaning pigs housed at 2 floor spaced allowances. *J Anim Sci* 71, 552-556
- Kyriazakis I, Emmans GC (1992a) The effects of varying protein and energy intakes on the growth and body composition of pigs. I. The effects of energy intake at constant, high protein intake. *Br J Nutr* 68, 603-613
- Kyriazakis I, Emmans GC (1992b) The effects of varying protein and energy intakes on the growth and body composition of pigs. II. The effects of varying both energy and protein intake. *Br J Nutr* 68, 615-625
- Rhône Poulenc Animal Nutrition (1993) *Rhodimet™ Nutrition Guide. Feed ingredients formulation in digestible amino acids*. 2nd edition, Antony, 55 p
- SAS (1990) *SAS User's Guide: Statistics*. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA
- Susenbeth A, Schneider R, Menke KH (1993) The effect of protein and lysine intake on growth and protein retention in pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr* 71, 200-207