Article original

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

Y Henry

avec la collaboration de 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, Nadine Mézière pour l'analyse des régimes et Y Colléaux pour les dosages des acides aminés

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

(Reçu le 2 novembre 1993; accepté le 5 avril 1994)

Résumé — Une série de 5 expériences a été réalisée sur un effectif total de 476 porcs Large White (femelles et mâles castrés), afin d'étudier l'influence d'un déficit en un acide aminé particulier (lysine, thréonine ou tryptophane) et d'un déséquilibre entre acides aminés (excès de thréonine par rapport à la lysine) pendant une phase initiale de la croissance (18–20 à 40–50 kg de poids vif) sur les performances au poids d'abattage de 100 kg, lorsque les animaux reçoivent un même régime alimentaire de finition suivant un même plan de rationnement. Les résultats montrent que les porcs ont tendance à réagir à un apport sub-optimal de lysine ou de thréonine pendant la période initiale de croissance en augmentant leur consommation d'aliment par unité de poids métabolique. Il s'ensuit que la dépression de croissance est associée à un accroissement de l'adiposité, qui est maintenu à l'abattage après que les animaux ont été soumis aux mêmes conditions d'alimentation en période de finition. Au contraire, dans le cas du tryptophane, une réduction de l'apport en dessous du besoin pour la croissance provoque une dépression sévère du niveau d'ingestion alimentaire, qui retentit défavorablement à la fois sur la croissance pondérale et sur le dépôt de gras. Cette autolimitation de la consommation d'aliment conduit à l'abattage à des carcasses plus maigres, après une alimentation normale en finition. En ce qui concerne l'équilibre entre la lysine et la thréonine, un excès de thréonine en présence d'un déficit en lysine induit un effet dépressif sur l'ingestion alimentaire et la vitesse de croissance, comme dans le cas d'une déficience en tryptophane. De la même façon, l'autolimitation initiale de la consommation d'aliment, suivie d'une alimentation normale en finition, produit à l'abattage des carcasses à plus faible état d'engraissement. Dans l'ensemble, les performances en finition ne sont pas ou sont peu affectées par une déficience ou un déséquilibre du régime en acides aminés au cours de la phase de crois-

sance antérieure (aux alentours de 20–50 kg), ce qui semble confirmer ainsi l'absence de croissance compensatrice. La longueur de la carcasse à 100 kg semble augmenter lorsque le ralentissement antérieur de la croissance est associé à une adiposité accrue, comme c'est le cas pour une déficience en lysine. En revanche, elle n'est pas modifiée ou semble diminuer à la suite d'une déficience en tryptophane ou d'un excès de thréonine relativement à la lysine, c'est-à-dire lorsque les dépôts de tissus maigres et de gras sont affectés simultanément. En définitive, les effets d'un déficit ou d'un déséquilibre en acides aminés pendant une phase initiale de la croissance sur les performances ultérieures à l'abattage sont étroitement liés aux variations d'ingestion alimentaire selon la nature du déficit ou du déséquilibre, suivant que les dépôts de tissus maigres et de gras sont distinctement ou simultanément affectés.

porc / croissance / déficit en acide aminé / croissance compensatrice / composition corporelle

Summary — Effect of a dietary amino-acid deficiency or imbalance during the initial period of growth in pigs on subsequent performance at slaughter. *A series of 5 experiments was conducted with a total number of 476 Large White pigs (females and castrated males) to study the influence of a deficiency in a particular amino acid (lysine, threonine or tryptophan) and an imbalance between amino acids (excess threonine relative to lysine) during the initial period of growth (18–20 to 40–50 kg live weight) on final performance at 100 kg slaughter, when the pigs are fed the same finisher diet at the same feeding level. The results show that the pigs tended to eat more feed per kg metabolic body weight (BW^{0.75}) when fed a suboptimal level of lysine or threonine. It followed that growth depression was associated with increased adiposity, which was maintained at slaughter after the animals were fed the same diet at the same feeding level during the finishing period of growth. Conversely, in the case of tryptophan, a reduced supply below the level for optimum growth severely depressed voluntary feed intake, with a resulting decrease of both lean and fat deposition. Due to this self-limitation of feed intake, the carcasses were leaner at 100 kg slaughter weight, following reequilibrated feeding during finishing. With regard to a dietary imbalance between lysine and threonine, an excess of threonine supply in the presence of a limiting supply of lysine exerted a depressive effect on feed intake and growth performance, as in the case of tryptophan deficiency. In the same way, this initial self-limitation of feed consumption, followed by normal feeding during finishing, was associated with lowered fat content in the carcass at 100 kg slaughter weight. On the whole, growth performance during finishing was little or not affected by amino-acid deficiency or imbalance during the former growth period (around 20–50 kg), and this seems to invalidate the phenomenon of compensatory growth. From the observations at slaughter, it seemed that carcass length increased when the former slowing of growth was connected with increased adiposity, as was the case with lysine deficiency. On the contrary, carcass length was not modified or tended to decrease after tryptophan deficiency or excess threonine relative to lysine, that is when lean and fat deposits were both depressed. To conclude, the effects of dietary amino-acid deficiency or imbalance during the initial phase of growth (between 18–20 and 40–50 kg live weight) on the subsequent growth performance at 100 kg slaughter weight are closely related to changes in feed intake according to the type of deficiency or imbalance, and depending on whether lean and fat deposits are distinctly or simultaneously affected.*

pig / growth / amino-acid deficiency / compensatory growth / body composition

INTRODUCTION

Un problème d'intérêt majeur dans l'alimentation du porc est d'assurer les apports appropriés de nutriments énergétiques et azotés tout au long des stades successifs de la croissance, afin d'optimiser les performances globales de production et les caractéristiques

finales des carcasses à l'abattage, en fonction d'objectifs fixés préalable-ment. C'est ainsi que l'on s'est longtemps interrogé sur les conséquences d'une restriction alimentaire, et notamment azotée, pendant une phase initiale de la croissance sur les performances ultérieures à l'abattage, après que les animaux ont été soumis

de nouveau à une alimentation quantitativement et qualitativement équilibrée. Si une restriction azotée pendant le tout jeune âge est connue pour affecter négativement à long terme le potentiel de développement musculaire (Sève, 1984 ; Sève et Ballèvre, 1991), il semble que ce dernier soit préservé à la suite d'une restriction azotée au cours d'une phase moins précoce de la vie de l'animal. C'est ainsi qu'il est parfois fait état d'une croissance compensatrice pendant une période de réalimentation suivant une période de restriction globale de protéines (Campbell et Biden, 1978 ; Hogberg et Zimmerman, 1978 ; Wahlstrom et Libal, 1983 ; Kyriazakis *et al*, 1991 ; de Greef *et al*, 1992) ou simplement de lysine (Thaler *et al*, 1986), les animaux exprimant un gain pondéral et une efficacité alimentaire souvent améliorés, et dans certains cas un dépôt de gras moindre. En tout état de cause, l'importance de ce phénomène de croissance compensatrice semble dépendre tout autant du stade de croissance au moment de la restriction (Wahlstrom et Libal, 1983) que des aptitudes génétiques des animaux (Hogberg et Zimmerman, 1978 ; de Greef *et al*, 1992).

Pour mieux comprendre l'incidence d'une restriction azotée sur les performances ultérieures de croissance et la composition corporelle finale, en raison du rôle spécifique de certains acides aminés dans les processus métaboliques (Sève et Ballèvre, 1991) ou ceux liés à l'ajustement de l'ingestion alimentaire (Henry et Sève, 1991, 1993), il nous a paru intéressant de considérer les effets propres de ces derniers, selon leur niveau de déficit ou le type de déséquilibre, en prenant notamment en compte leur contribution spécifique dans les variations d'ingestion alimentaire au cours de la phase de restriction.

L'objet du présent travail était précisément d'étudier l'influence d'un déficit en un acide aminé particulier (lysine, thréonine ou tryptophane) et d'un déséquilibre entre acides aminés (excès de thréonine par rap-

port à la lysine) pendant une phase initiale de la croissance (18–20 à 40–50 kg de poids vif) sur les performances du porc au poids habituel d'abattage de 100 kg, lorsque les animaux sont soumis à un même régime alimentaire de finition et à un même plan de rationnement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Une série de 5 expériences a été réalisée sur un total de 476 porcs Large White, comportant un nombre égal de femelles et de mâles castrés, d'un poids vif moyen initial par expérience compris entre 17,6 et 21,5 kg. Les traitements alimentaires expérimentaux sont appliqués à volonté pendant une première période d'une durée constante (42 j, à l'exception de l'expérience 3) et jusqu'à un poids vif constant avoisinant 50 kg. Au-delà de ce poids, les animaux sont soumis à un régime unique de finition, suivant un même plan de rationnement alimentaire jusqu'au poids final de 100 kg.

Période expérimentale

Dans chacune des expériences, à l'issue d'une période pré-expérimentale, les porcs sont répartis entre les traitements selon la méthode des blocs complets équilibrés, sur la base du poids et de l'âge. Ils sont élevés en loges individuelles, sur plancher métallique grillagé (« flat-deck » : expériences 1 et 2) ou sur sol paillé (expériences 3 à 5). Les aliments sont offerts à volonté, sous forme de granulés (4–5 mm de diamètre), et l'eau est laissée à discrétion dans un abreuvoir automatique. La composition des régimes de base utilisés dans les 5 expériences est détaillée dans le tableau I. Les teneurs en matières azotées totales (N x 6,25 : MAT) des régimes expérimentaux sont rééquilibrées après supplémentation en acides aminés sous forme libre, à l'aide d'une addition d'azote non indispensable sous forme de glycine. La valeur énergétique des régimes est de 13,4 MJ d'énergie digestible par kg d'aliment frais en moyenne. À la fin de la période expérimentale (à l'exception de l'expérience 1), on procède à la mesure de l'épaisseur du lard dorsal aux ultra-sons, latéralement à 6 cm au niveau du cou, du dos et du rein. Les teneurs en acides aminés sont celles qui ont été mesurées après

Tableau I. Composition des régimes témoins et du régime de finition dans les 5 expériences (%).

Expérience	Régimes expérimentaux					Régime finition
	1	2	3	4	5	
Orge	—	—	—	—	—	24,36
Blé	—	—	77,5	76,505	76,595	23,35
Maïs	30	71	—	—	—	18,27
Tourteau de soja	—	—	4	8	14	20
Tourteau d'arachide	11,3	13,5	8	8	2	—
Son de blé	—	—	—	—	—	7
Mélasse de canne	3	3,3	3	3	3	3
Mélange acides aminés	4,2 ^a	4,2 ^b	3,95 ^c	0,38 ^d	0,29 ^e	—
Mélange minéral et vitaminique ^f	3,5	4,0	3,55	4,115	4,115	4,02
Total	100	100	100	100	100	100

^a Dans le régime témoin 1, L-lysine HCl, 0,51 ; L-thréonine, 0,10 ; L-tryptophane, 0,04 ; DL-méthionine, 0,05 ; L-glutamate monosodique, 3,3 ; amidon de maïs, 0,2. L-lysine HCl : 0,41 et 0,305 dans les régimes 2 et 3. L-thréonine : 0,05 et 0 dans les régimes 4 et 5. L-tryptophane : 0,02 et 0 dans les régimes 6 et 7. Les retraits d'acides aminés sont assurés en ajoutant de l'amidon de maïs tandis qu'un apport variable de glycine permet d'égaliser les teneurs en N : 0 – 0,08 – 0,15 – 0,03 – 0,06 – 0,015 et 0,025 dans les régimes 1 à 7. ^b Dans le régime témoin 1, L-lysine HCl, 0,50 ; L-thréonine, 0,08 ; L-tryptophane, 0,04 ; DL-méthionine, 0,05 ; L-glutamate monosodique, 3,3 ; amidon de maïs, 0,23. L-tryptophane : 0,02 et 0 dans les régimes 2 et 3. Les retraits de tryptophane sont opérés en ajoutant de l'amidon de maïs tandis qu'un apport de glycine permet d'égaliser les teneurs en N : 0,01 et 0,02 respectivement dans les régimes 2 et 3. ^c Dans le régime de base 1 à 0,39% de thréonine, L-lysine HCL, 0,45 ; L-tryptophane, 0,02 ; DL-méthionine, 0,03 ; glycine, 0,15 ; amidon de maïs, 0,235. La L-thréonine est ajoutée à doses croissantes dans les autres régimes 2 à 6 : respectivement 0,05 – 0,10 – 0,15 – 0,20 et 0,25%. Un apport variable de glycine permet d'égaliser les teneurs en N : 0,12 – 0,09 – 0,06 – 0,03 et 0 dans les régimes 2 à 6. ^d Dans le régime témoin 1, L-lysine, 0,28 ; glycine, 0,10. L-lysine HCl : 0,28 et 0,13 respectivement dans les régimes 1, 2, 3 et 4, 5, 6. L-thréonine, 0 – 0,075 et 0,15 respectivement dans les régimes 1-4, 2-5 et 3-6. Un apport variable de glycine permet d'égaliser les teneurs en N : 0,10 – 0,05 – 0 – 0,25 – 0,20 et 0,15 dans les régimes 1 à 6. ^e Dans le régime témoin 1, L-lysine, 0,19 ; glycine, 0,10. L-lysine HCl : 0,19 et 0 respectivement dans les régimes 1, 2, 3 et 4, 5, 6. L-thréonine 0-0,08 et 0,16 dans les régimes 1-4, 2-5 et 3-6. Un apport variable de glycine permet d'égaliser les teneurs en N : 0,10 – 0,05 – 0 – 0,25 – 0,20 et 0,15 dans les régimes 1 à 6. ^f Phosphate bicalcique, 2,2-2,5-2,0 et 2,2 respectivement dans les expériences 1, 2, 3 et 4-5. Craie broyée, 1,2-1,4 et 1,2 respectivement dans les expériences 1, 2 et 3-5. Sel marin, 0,5 dans les expériences 4-5. Mélange oligo-éléments (0,1) et vitamines (0,115), selon Sève *et al* (1993). Régime finition : phosphate bicalcique, 1,7 ; craie broyée, 1,7 ; sel marin, 0,45 ; mélange oligo-éléments, 0,04 ; mélange vitaminique, 0,13. Oligo-éléments, mg/kg de régime : sulfate de zinc, 7 H₂O, 350 ; sulfate de manganèse, 50 ; sulfate de cuivre, 5 H₂O, 20 ; iodure de potassium, 0,4 ; sulfate de cobalt, 0,4. Vitamines, UI ou mg/kg : vit A, 5000 UI ; vit D3, 1000 UI ; vit E, 10 UI ; vit K3, 2 mg ; thiamine, 1 mg ; riboflavine, 4 mg ; acide nicotinique, 15 mg ; pantothénate de calcium, 10 mg ; vit B6, 1 mg ; vit B12, 30 mg ; acide folique, 1 mg ; biotine, 0,2 mg ; choline, 500 mg.

dosage par chromatographie liquide sur colonnes échangeuses d'ions, y compris pour le tryptophane dans l'expérience 2.

La consommation d'aliment (en g) par kg de poids métabolique (poids vif (PV), kg^{0,75}) pendant la période expérimentale est calculée suivant la formule proposée par Foster *et al* (1983) et De Haer *et al* (1993), en supposant un accroissement linéaire du poids vif entre le début et la fin

de la période : poids métabolique moyen, $PV^{0,75}$, $kg = (PV_f^{1,75} - PV_i^{1,75}) / 1,75 * (PV_f - PV_i)$, PV_i et PV_f étant respectivement les poids vifs au début et à la fin de la période.

Expérience 1

Cent douze porcs, d'un poids vif moyen initial de $17,6 \pm 1,4$ kg et âgés de 56 j, sont répartis entre

7 traitements, à raison de 8 répétitions pour chacun des 2 sexes. Par rapport à un régime témoin 1 apportant les acides aminés en quantités optimales pour la croissance (0,82% de lysine, 0,54% de thréonine et 0,17% de tryptophane), suivant les recommandations de l'INRA (1984), on abaisse de 10 et 20% respectivement les teneurs en lysine (traitements 2 et 3), en thréonine (traitements 4 et 5) et en tryptophane (traitements 6 et 7). Un régime de base contenant 16% de MAT est formulé de façon à apporter les quantités minimales de chacun des 3 acides aminés étudiés : 0,40% de lysine, 0,40% de thréonine et 0,13% de tryptophane. Il est à base de maïs, blé, tourteau d'arachide, et contient une source d'azote non essentiel sous la forme de L-glutamate monosodique. Les régimes expérimentaux sont obtenus à partir du régime de base à l'aide d'apports des acides aminés sous forme libre : L-lysine HCl, L-thréonine et L-tryptophane.

Expérience 2

Compte tenu des résultats de l'expérience 1, ne faisant apparaître qu'une légère diminution de la croissance à la suite d'une réduction du taux de tryptophane de 0,17 à 0,14%, il a été procédé à l'application d'une déficience plus sévère en cet acide aminé. Trois taux sont ainsi utilisés (0,10 – 0,12 et 0,14%) dans un essai comprenant 60 animaux d'un poids vif moyen initial de $18,5 \pm 0,4$ kg et 55 j d'âge, à raison de 10 répétitions par traitement et par sexe. Les régimes, à base de maïs et de tourteau d'arachide, renferment 16% de MAT. Ils bénéficient d'une supplémentation en L-lysine HCl et L-thréonine, ainsi que d'un apport complémentaire d'azote non indispensable sous forme de L-glutamate monosodique. L'apport de L-tryptophane permet de faire varier la teneur en cet acide aminé à partir d'un taux basal de 0,10%. L'expérience est poursuivie jusqu'à des poids finaux aussi comparables que possible, compte tenu de la difficulté de maintenir plus longtemps les animaux sur les régimes carencés en tryptophane.

Expérience 3

Six taux de thréonine régulièrement espacés, entre 0,39 et 0,64%, font l'objet d'une comparaison chez 120 porcs d'un poids vif moyen initial de $21,5 \pm 1,0$ kg et 70 j d'âge, à raison de 10 répétitions par traitement et par sexe. Ils correspondent à l'addition de doses croissantes de L-thréo-

nine à un régime à base de blé, tourteau de soja et tourteau d'arachide, renfermant en moyenne 15,9% de MAT et 0,87% de lysine. En dehors de la thréonine, les teneurs en acides aminés des régimes sont conformes aux recommandations (INRA, 1984).

Expériences 4 et 5

L'étude de l'influence d'un excès relatif de thréonine par rapport à la lysine (acide aminé limitant primaire) sur le niveau d'ingestion alimentaire et les performances de croissance a fait l'objet de 2 essais complémentaires (expériences 4 et 5).

Dans l'expérience 4, 60 porcs d'un poids vif moyen de $21,3 \pm 1,2$ kg et âgés de 51 j, sont répartis entre 6 traitements, à raison de 5 répétitions par traitement et par sexe, suivant un plan factoriel avec 2 taux de lysine (un taux optimal de 0,83% et un taux réduit de 15%, soit 0,71%) et 3 taux de thréonine (0,51, 0,58 et 0,65%, soit respectivement 15 et 30% au dessus du taux basal). Les 6 régimes sont composés à partir d'un même régime de base (blé-tourteau de soja-tourteau d'arachide) apportant 16% de MAT, avec une supplémentation en L-lysine et L-thréonine.

Dans l'expérience 5, le taux de thréonine est porté de 0,51 à 0,53%. Les 3 taux de thréonine s'élèvent ainsi à 0,53, 0,61 et 0,69%, pour 0,86 et 0,71% de lysine, dans des régimes renfermant en moyenne 16,6% de MAT. L'essai est réalisé sur 120 porcs d'un poids vif moyen initial de $19,9 \pm 0,65$ kg et d'un âge moyen de 65 j, à raison de 10 répétitions par traitement et par sexe.

Période de finition et observations à l'abattage

À l'issue de la période expérimentale, les animaux, dans chacune des expériences, reçoivent un même aliment renfermant 17% de MAT, 0,85% de lysine et 12,5 MJ d'énergie digestible par kg d'aliment frais. Ce dernier, qui correspond à un aliment unique standard utilisé pendant la totalité de l'engraissement, est composé d'un mélange de céréales (orge, blé et maïs), de tourteau de soja et de son de blé, et est présenté sous forme de granulés de 5 mm de diamètre (tableau II). Les contrôles périodiques de composition font ressortir une teneur moyenne en matière sèche de $87,9 \pm 1,3\%$ et en MAT de $17,4 \pm 0,7\%$. Les femelles et les mâles castrés

Tableau II. Plan de rationnement alimentaire.

Intervalle de poids vif (kg)	Quantité d'aliment/j (kg)
40-44	2,0
44-48	2,1
48-52	2,2
52-56	2,3
56-60	2,4
60-64	2,5
64-68	2,6
68-72	2,7
72-76 ^a	2,8
76-100 ^a	2,9

^a Dans les expériences 3 et 5, 72-80 : 2,8 ; 80-90 : 2,9 ; 90-100 : 3,0.

sont soumis à un même plan de rationnement alimentaire en fonction du poids vif (tableau II), les quantités d'aliment étant légèrement augmentées pendant la phase terminale de l'engraissement dans les expériences 3 et 5. Ceci revient logiquement à restreindre un peu plus fortement les mâles castrés que les femelles par rapport à leur niveau d'ingestion spontanée, qui est plus élevé. Les résultats de consommation et d'indice de consommation pour la période totale sont donnés en négligeant les écarts de valeur énergétique entre les régimes expérimentaux et le régime de finition.

À un poids vif final avoisinant 100 kg, les animaux sont abattus après un jeûne de 16 h en moyenne. Sur les carcasses chaudes, on procède aux mesures linéaires de gras et de muscle à l'aide de l'appareil «*Fat-O-Meater*», en vue de l'estimation des teneurs en muscle et en gras à partir des équations de prédiction établies par Desmoulin *et al* (1988). Les mesures de gras effectuées concernent les sites X1 (épaisseur sur la fente au niveau du *Gluteus Medius*), X2 (mesure latérale, à 8 cm de la fente, au niveau de la jonction entre les 3^e et 4^e vertèbres lombaires), X4 (mesure latérale, à 6 cm de la fente, entre les 3^e et 4^e côtes, comptées à partir de la dernière côte). L'épaisseur du muscle long dorsal X'5 est mesurée au même site que la mesure de gras X4. Les quantités finales de muscle et de gras sont calculées à l'aide de la relation entre le poids de la carcasse chaude et le poids de la carcasse

froide sans tête, établie à partir d'expériences contemporaines (tableau III). Les gains journaliers de muscle et de gras sont estimés à partir des quantités correspondantes dans la carcasse et des quantités initiales de tissus estimées selon Karege (1991) chez des animaux du même troupeau expérimental. Les mesures de gras et de muscle sont complétées par l'enregistrement de la longueur de la carcasse, totale (entre l'atlas et le bord antérieur de la symphyse pubienne) et restreinte (entre le bord antérieur de la symphyse pubienne et le milieu de la première côte), à l'exception de l'expérience 2. Dans l'expérience 2, le pH ultime (24 h *post mortem*) a été mesuré dans le muscle long dorsal.

Calculs statistiques

Le traitement statistique des données expérimentales est effectué en utilisant la procédure du logiciel SAS (1990), avec l'analyse de variance, et dans certains cas l'analyse de covariance (poids des tissus à l'abattage, influence du poids vif à l'issue de la période expérimentale). Après prise en compte de l'effet bloc *intra* sexe (dispositif en split-plot), l'effet sexe est testé par rapport au carré moyen résiduel entre blocs. Les contrastes sont testés selon des modalités particulières en fonction du dispositif de l'expérience. Ils sont jugés significatifs en dessous du seuil $P < 0,10$.

RÉSULTATS

Compte tenu de la similitude de réponse des animaux après une durée constante (42 j) ou à un même poids vif, au cours de la période expérimentale, seuls sont présentés les résultats obtenus sur la totalité de cette dernière. Dans l'ensemble, l'influence du sexe reproduit les différences observées habituellement entre femelles et mâles castrés. Pendant la phase de finition, alors que les animaux sont soumis à un même plan de rationnement alimentaire en fonction du poids vif, les femelles ont une croissance supérieure à celle des mâles castrés et leur indice de consommation est plus faible, en relation avec une adiposité des carcasses

moins importante et une teneur en muscle plus élevée. De plus, dans les expériences 4 et 5, elles présentent une longueur de la carcasse plus élevée.

Expérience 1

En l'absence d'interaction entre les traitements et le type sexuel, les résultats (tableau III) sont présentés globalement pour les femelles et les mâles castrés. Les données concernant la période expérimentale ont fait l'objet d'une publication antérieure (Henry, 1983).

Réduction du taux de lysine

La réduction du taux de lysine de 0,79 à 0,71 et 0,63% (respectivement -10 et -20% par rapport au niveau témoin), pendant la période expérimentale (18-47 kg de poids vif), entraîne une diminution linéaire de la vitesse de croissance (-13% entre les taux extrêmes : $P < 0,01$). Les variations de la consommation journalière d'aliment font apparaître une réponse quadratique ($P < 0,10$), la consommation étant augmentée au taux sub-optimal de lysine. Il s'ensuit un accroissement de l'indice de consommation.

Les performances enregistrées pendant la phase de finition (gain moyen journalier, indice de consommation), avec l'application d'un même régime et d'un même plan de rationnement, ne sont pas modifiées par les conditions d'alimentation antérieures. On observe cependant une tendance à un accroissement du gain moyen journalier après une période de forte restriction en lysine (-20%), en relation avec une consommation d'aliment accrue ($P < 0,05$).

Sur l'ensemble de l'expérience, la vitesse de croissance et l'indice de consommation ne sont pas affectés significativement par une déficience initiale du régime en lysine. On note seulement une tendance à une

diminution des performances, en relation avec leur réduction initiale.

L'effet majeur observé à l'abattage consiste dans un accroissement du dépôt journalier de gras ($P < 0,05$). L'épaisseur de muscle (X^5) est réduite après une déficience prononcée en lysine (-20% : effet quadratique à $P < 0,10$). Cette réponse est associée à une augmentation de la longueur de la carcasse (totale et restreinte : $P < 0,05$) consécutivement à une déficience sévère en lysine.

Réduction du taux de thréonine

Comme pour la lysine, un apport restreint de thréonine en dessous de 0,54% à partir de 18 kg de poids vif retient défavorablement sur le gain moyen journalier (-12% pour 0,44% de thréonine : $P < 0,01$). La quantité d'aliment consommée/kg PV^{0.75} après 42 j d'expérience est augmentée à un taux sub-optimal de thréonine (135 et 134 g respectivement pour -10 et -20% de thréonine, contre 129 g pour le témoin : $P < 0,10$). En même temps, l'indice de consommation est accru ($P < 0,01$).

Pendant la phase de finition, les performances ne sont pas modifiées. On retrouve l'effet dépressif d'une déficience initiale en thréonine sur la croissance à l'issue de la période totale ($P < 0,05$ et $P < 0,10$, respectivement pour le gain de poids vif et l'indice de consommation).

À l'abattage, on observe une augmentation du rendement de la carcasse ($P < 0,10$) à la suite d'une déficience en thréonine. La longueur des carcasses n'est pas affectée. Le résultat le plus net est représenté par un effet quadratique d'une déficience initiale en thréonine sur les critères d'adiposité. Ainsi, les épaisseurs de gras X_1 et X_4 sont accrues au taux sub-optimal de thréonine (respectivement $P < 0,10$ et $P < 0,05$). Il en est de même du pourcentage et du dépôt journalier de gras ($P < 0,10$), tandis que le pourcentage de muscle est abaissé ($P <$

Tableau III. Résultats généraux de l'expérience 1 : réduction des teneurs en lysine, thréonine et tryptophane ^a.

Période expérimentale	Témoin	-lysine			-thréonine			-tryptophane			Sexe		Probabilité P	
		-10%			-10%			-10%			F	MC	Sexe	Contrastes ^d
		1	2	3	4	5	6	7	6	7				
Traitement ^b														
Lysine (%)	0,79	0,71	0,63	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79				
Thréonine (%)	0,54	0,54	0,54	0,49	0,49	0,44	0,54	0,54	0,54	0,54				
Tryptophane (%)	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15	0,13						
MAT (%)	15,8	16,1	16,0	16,2	16,2	16,0	16,2	16,2	16,2	16,2				
Poids vif (kg)														
Initial	17,6	17,6	17,7	18,9	17,7	17,7	17,7	17,6			17,3	17,6	0,8*	
Fin période expérimentale	46,8	47,8	47,5	47,6	46,4	47,5	47,5	47,9			45,1	49,6	2,3*	
Abattage	99,2	99,5	101,3	100,4	101,1	101,1	101,1	99,4			100,0	100,6	2,0*	
Durée (j)														
Période expérimentale	42,7	45,3	50,1	46,2	47,5	44,9	44,9	45,8			44,9	47,3	1,2	lys lin:0,0001; thr lin:0,009; trp lin:0,094
Finition	60,3	59,2	58,5	62,7	63,0	60,6	60,6	60,3			61,3	60,0	1,6	
Période exp ^{ale}														
Gain/j (g)	688	672	597	652	604	664	664	668			624	675	17,6	lys lin:0,003; thr lin:0,0008
Aliment/j (kg)	1,72	1,79	1,69	1,77	1,73	1,69	1,73	1,73			1,67	1,79	0,033	lys quad:0,058
g/kg PV ^{0,75}	128	132	125	131	129	125	128	128			128	129	2,3	
Indice de consommation	2,51	2,69	2,86	2,74	2,86	2,56	2,62	2,62			2,70	2,68	0,065	lys lin:0,0001; thr lin:0,0001
Période finit ^{on}														
Gain/j (g)	880	880	923	857	872	887	858				900	859	18,9	lys lin:0,110
Aliment/j (kg)	2,53	2,55	2,60	2,53	2,50	2,57	2,55				2,51	2,59	0,030	
Indice de consommation	2,91	2,90	2,83	3,02	2,88	2,91	2,98				2,79	3,05	0,069	0,0001

Période expérimentale	Témoin							-tryptophane		-thréonine		-lysine		Sexe		s _x ^c		Probabilité P	
	-10% -20%							-10% -20%		-10% -20%		-10% -20%		F		MC		Sexe	
	1	2	3	4	5	6	7											Contrastes ^d	
Traitement ^b																			
Période totale																			
Gain/j (kg)	798	788	771	767	756	792	776	782	775								12,9	thr lin:0,026	
Aliment/j (kg)	2,19	2,22	2,18	2,20	2,17	2,20	2,19	2,15	2,24								0,023	0,0003	
Indice de consommation	2,77	2,82	2,83	2,90	2,88	2,78	2,84	2,76	2,90								0,050	thr lin:0,056	
Composition corporelle																			
Poids carcasse (kg)	79,8	80,9	81,9	81,6	82,1	81,6	80,1	81,2	81,1								2,7*	thr lin:0,070	
Rendement carcasse (%)	79,9	81,2	80,8	81,2	81,2	80,7	80,6	81,0	80,7								0,53		
Longueur carcasse (cm)																			
totale	96,6	96,7	98,3	97,2	96,4	98,6	96,5	97,4	97,1								0,50	lys lin:0,009;lys quad:0,077;	
restreinte	81,2	81,0	83,3	81,3	80,7	82,4	81,3	81,6	81,5								0,48	trp quad:0,068	
Épaisseur de gras (mm)																			
X1	21,0	21,6	22,6	23,1	20,6	21,1	20,3	20,0	22,9								1,0	thr quad:0,079	
X2	27,6	27,4	28,2	28,2	26,6	25,9	26,6	26,6	27,9								1,0	0,067	
X4	22,0	22,6	22,8	23,8	21,7	21,2	21,2	20,8	23,5								0,7	thr quad:0,030	
Épaisseur muscle X5 (mm)	51,6	53,4	48,7	52,1	54,3	52,4	50,7	53,6	50,2								1,1	lys lin:0,102; lys quad:0,033	
Muscle (%)	52,0	52,1	50,9	51,0	53,0	52,4	52,5	53,2	50,8								0,55	thr quad:0,043	
Gras (%)	27,2	27,4	28,1	28,4	26,5	26,4	26,3	26,1	28,3								0,69	thr quad:0,065	
Poids de muscle (kg) ^e	38,64	38,65	37,80	37,89	39,37	39,93	38,86	39,47	37,71								0,41	thr quad:0,042	
Poids de gras (kg) ^e	20,28	20,41	20,79	21,07	19,56	19,53	19,77	19,40	21,01								0,50	thr quad:0,080	
Gain de muscle/j (g) ^f	308	314	312	296	324	320	304	331	291								10,6	0,0001	
Dépôt de gras/j (g) ^f	199	210	226	217	198	195	190	198	212								8,1	lys lin:0,031; thr quad:0,095	

^a 20 animaux par traitement : 10 femelles (F) et 10 mâles castrés (MC). ^b Teneur moyenne en matière sèche (MS) des régimes expérimentaux : 86,3%. Aliment finition, % : MS, 88,7 ; MAT, 17,2 ; matières minérales, 7,9. ^c s_x : écart type de la moyenne. Les chiffres comportant un astérisque représentent l'écart type. ^d Effets linéaires (lin) et quadratiques (quad) de la réduction des taux d'acides aminés : lysine (lys), thréonine (thr) et tryptophane (trp). ^e Calcul à partir du poids de la carcasse froide sans tête : 1,0053 × poids carcasse chaude - 7,4017 ; R² = 0,971 ; 413 données. Moyennes ajustées après analyse de covariance avec le poids de la carcasse chaude. ^f Valeurs moyennes pendant la phase de finition.

0,05). Après analyse de covariance utilisant comme covariable le poids de la carcasse chaude, les poids de muscle et de gras ajustés à l'abattage sont respectivement plus faible et plus élevé au taux sub-optimal de thréonine (effet quadratique respectivement à $P < 0,05$ et $P < 0,10$).

Réduction du taux de tryptophane

Une diminution du taux de tryptophane de 0,17 à 0,13% entre 18 et 47 kg de poids vif n'affecte pas significativement la vitesse de croissance, la consommation d'aliment et l'indice de consommation. On relève seulement une tendance à une réduction du gain moyen journalier de 3%. Ceci explique l'absence de différence entre traitements pendant la phase de finition et sur l'ensemble de l'expérience.

Les observations à l'abattage font apparaître un effet quadratique d'une réduction initiale du taux de tryptophane sur la longueur totale ($P < 0,01$) et restreinte ($P < 0,10$) de la carcasse, celle-ci étant plus élevée au taux sub-optimal de tryptophane (0,15%).

Expérience 2

L'absence d'interaction entre les traitements et le sexe ont permis de regrouper les résultats pour les femelles et les mâles castrés.

L'abaissement du taux de tryptophane de 0,14 à 0,10% à partir de 18,5 kg de poids vif (tableau IV) provoque une très forte dépression de la croissance (-50%) pendant les 42 j d'expérience. Cette durée a été prolongée dans les lots carencés en tryptophane, de manière à égaliser les poids vifs au début de la période de finition. En réalité, en raison de refus d'aliment importants, la période expérimentale a dû être interrompue dans le traitement 3, pour un poids vif final se situant respectivement

à 45, 44 et 38,6 kg dans les traitements 1, 2 et 3. Du fait d'un gaspillage d'aliment inhabituel dans les lots déficitaires en tryptophane, les quantités d'aliment ingéré n'ont pas été prises en compte. Sur la totalité de la période expérimentale, le gain moyen journalier était abaissé de 42% ($P < 0,01$). La mesure de l'épaisseur du lard aux ultrasons à la fin de cette période fait ressortir une diminution au niveau du cou, site au développement le plus précoce parmi les trois étudiés ($P < 0,01$) : respectivement 15,8, 13,4 et 12,4 mm dans les traitements 1, 2 et 3.

Pendant la phase de finition, alors que les animaux sont soumis à une même alimentation, il n'apparaît aucune différence dans la vitesse de croissance entre traitements, même après analyse de covariance en fonction du poids vif à l'issue de la période expérimentale. L'indice de consommation est abaissé dans les traitements initialement déficitaires en tryptophane ($P < 0,01$). Toutefois, cette différence disparaît après analyse de covariance prenant en compte le poids vif à la fin de la période expérimentale.

Sur la période totale (18,5-100,6 kg de poids vif), on retrouve l'effet dépressif d'une déficience initiale en tryptophane ($P < 0,01$), associée à un allongement de la durée d'engraissement, soit respectivement 111, 117 et 131 j pour 0,14, 0,12 et 0,10% de tryptophane.

Les observations à l'abattage font ressortir une diminution des épaisseurs de gras aux sites X1 ($P < 0,05$), X2 ($P < 0,05$) et X4 ($P < 0,01$). L'épaisseur de muscle X'5 est également abaissée au taux le plus bas de tryptophane (0,10% : $P < 0,10$). Le pourcentage de muscle dans la carcasse est augmenté dans les traitements initialement déficitaires en tryptophane ($P < 0,05$). Il en est de même du poids final de muscle ($P < 0,05$, après covariance sur le poids de la carcasse chaude) et du gain journalier de muscle ($P < 0,10$), tandis que le poids final

Tableau IV. Résultats généraux de l'expérience 2 : réduction de la teneur en tryptophane ^a.

Traitement ^b	1	2	3	Sexe		s _x ^c	Probabilité P		
				F	M		Sexe	Contrastes ^d	
								Trp lin	1 vs 2-3
Tryptophane (%)	0,14	0,12	0,10						
MAT (%)	15,8	16,1	16,0						
<i>Poids vif (kg)</i>									
Initial	18,5	18,5	18,5	18,0	18,9	0,4*			
Fin période expérimentale	45,0	44,4	38,6	40,6	44,7	3,9*			
Abattage	101,0	100,9	100,0	100,4	100,8	2,1*			
<i>Durée (j)</i>									
Période expérimentale	42,8	50,2	56,1	50,3	49,0	0,7	—	0,0001	0,0001
Finition	68,0	66,9	75,1	71,1	68,9	1,2	—	0,0002	0,045
<i>Période exp^{le}</i>									
Gain/j (g)	620	521	359	461	539	16,4	0,0007	0,0001	—
<i>Épaisseur de lard (mm)</i>									
Rein	12,8	12,2	12,5	12,4	12,6	0,48	—	—	—
Dos	9,2	8,7	8,6	8,5	9,1	0,29	0,062	—	—
Cou	15,8	13,4	12,4	13,6	14,1	0,54	—	0,0001	0,0001
<i>Période finition</i>									
Gain/j (g)	824	833	821	845	807	13,4	0,020	—	—
Aliment/j (kg)	2,54	2,47	2,42	2,45	2,50	0,020	0,028	—	—
Ind consom	3,09	2,99	2,96	2,92	3,11	0,045	0,0043	0,035	0,043
<i>Période totale</i>									
Gain/j	745	706	622	683	700	8,3	0,105	0,0001	0,0001
<i>Composition corporelle</i>									
Poids carcasse (kg)	81,5	81,4	81,3	81,4	81,3	2,0*			
Rendement carcasse (%)	80,7	80,7	81,3	81,1	80,7	0,35	—	—	—
<i>Épaisseur de gras (mm)</i>									
X1	24,9	20,1	19,4	19,7	23,2	0,79	—	0,016	0,047
X2	25,8	24,7	24,0	23,5	26,2	0,66	0,018	0,026	0,08
X4	22,3	21,0	20,5	20,2	22,3	0,65	0,023	0,0079	0,040
<i>Épaisseur de muscle</i>									
X ⁵ (mm)	52,1	53,7	49,9	51,7	52,2	0,88	—	0,074	—
Muscle (%)	50,6	51,7	51,5	51,9	50,6	0,39	0,022	0,045	0,058
Gras (%)	26,9	25,6	25,1	24,9	26,8	0,53	0,024	0,0066	0,027
Poids de muscle (kg ^e)	37,56	38,12	38,58	38,63	37,49	0,30	0,022	0,048	0,061
Poids de gras (kg ^e)	20,25	19,67	18,31	18,53	20,30	0,40	0,025	0,0073	0,030
Gain de muscle/j (g ^f)	277	293	297	300	278	5,8	0,016	0,056	0,046
Dépôt de gras/j (g ^f)	189	176	173	172	187	6,6	—	0,016	0,062
pH _u long dorsal ^g	5,60	5,54	5,54	5,57	5,54	0,028	—	—	—

^a 20 animaux par traitement : 10 femelles (F) et 10 mâles castrés (MC). ^b Teneur moyenne en matière sèche des régimes expérimentaux : 86,0% ; matières minérales : 5,8%. ^c s_x : écart type de la moyenne. Les chiffres comportant un astérisque représentent l'écart type. ^d Trp lin : effet linéaire de la teneur en tryptophane. 1 vs 2-3 : contraste comparant le traitement témoin 1 aux traitements à teneur réduite en tryptophane. ^e cf tableau III. Moyennes ajustées après analyse de covariance avec le poids de la carcasse chaude. ^f Valeurs moyennes pendant la phase de finition. ^g pH ultime après 24 h.

et le dépôt journalier de gras sont diminués (respectivement $P < 0,05$ et $P < 0,01$). La mesure du pH ultime du muscle long dorsal ne fait apparaître aucune différence entre les traitements.

Expérience 3

Les résultats se rapportant aux effets de taux variables de thréonine (0,39 à 0,64%) sur la croissance entre 21 et 55 kg de poids vif ont été détaillés et discutés dans une publication antérieure (Sève *et al.*, 1993). Rapportés ici globalement pour les femelles et les mâles castrés (tableau V), ils indiquent un effet linéaire de la teneur en thréonine sur le gain moyen journalier et l'indice de consommation ($P < 0,05$), avec des performances diminuées aux taux de thréonine les plus faibles (0,39 et 0,42%). La consommation d'aliment par unité de poids métabolique ($\text{g/PV, kg}^{0,75}$) n'est pas affectée par la teneur du régime en thréonine. La mesure de l'épaisseur du lard dorsal aux ultra-sons au niveau du cou fait apparaître un effet quadratique du taux de thréonine ($P < 0,05$). L'épaisseur de lard est plus faible aux taux extrêmes (0,39 et 0,64%), et plus élevée aux taux intermédiaires (0,44 à 0,59%).

Pendant la phase de finition, on enregistre un effet linéaire du taux antérieur de thréonine sur la vitesse de croissance ($P < 0,05$) et l'indice de consommation ($P < 0,05$), avec un gain pondéral plus élevé et un indice de consommation plus faible chez les animaux ayant reçu le taux le plus faible de thréonine. Sur la totalité de l'expérience, on n'observe pas de différence entre les traitements initiaux.

Les résultats à l'abattage ne montrent aucun effet du taux initial de thréonine sur la longueur des carcasses ni sur les mesures linéaires de gras, à l'exception d'un effet quadratique de la thréonine sur l'épaisseur X1 (plus faible chez les ani-

maux ayant reçu la plus faible dose de thréonine : $P < 0,05$). De la même façon, l'augmentation du taux de thréonine en début de croissance exerce un effet quadratique sur le poids final de gras ($P < 0,10$), plus faible aux taux extrêmes de thréonine.

Expériences 4 et 5

Dans les 2 expériences 4 et 5, on n'observe pas d'interaction entre les traitements et le sexe au niveau des critères de croissance. Les variations combinées des teneurs en lysine et en thréonine (tableau VI et VII) font ressortir une interaction entre la thréonine (terme linéaire) et la lysine sur l'ingestion alimentaire, par jour ($P < 0,10$) ou par unité de poids métabolique ($\text{g/kg PV}^{0,75}$: $P < 0,05$). Au taux optimal de lysine (0,83%), dans l'expérience 4, la consommation d'aliment augmente avec le rapport thréonine/lysine au dessus de 0,61, tandis qu'au taux réduit de lysine (0,71%) elle diminue lorsqu'augmente le rapport thréonine/lysine au dessus de 0,72. La vitesse de croissance est affectée négativement par la réduction de la teneur en lysine ($P < 0,05$), et l'indice de consommation est augmenté ($P < 0,01$). Dans l'expérience 5, une accentuation de l'excès de thréonine par rapport à la lysine provoque une diminution de la consommation d'aliment (interaction à $P < 0,05$). Globalement, une réduction du taux de lysine entraîne une augmentation de l'indice de consommation ($P < 0,01$).

L'épaisseur de lard à la fin de la période expérimentale (51 kg de poids vif) est accrue à la suite d'une réduction de la teneur en lysine de 0,83 ou 0,86% à 0,71% : de 8,4 à 9,1 mm ($P < 0,05$) au niveau du dos, dans l'expérience 4 ; de 18,4 à 19,6 mm au rein, de 12,0 à 14,2 mm au dos ($P < 0,01$), et de 24,3 à 28,7 mm au cou ($P < 0,01$), dans l'expérience 5. Dans l'expérience 4, on note, au niveau du rein, une interaction entre la

thréonine (terme linéaire) et la lysine ($P < 0,05$) : l'épaisseur du lard diminue au taux sub-optimal de lysine à mesure que l'excès relatif de thréonine s'accroît.

En finition, dans l'expérience 4, lorsque les animaux sont soumis aux mêmes conditions d'alimentation, on n'observe aucun effet du déséquilibre initial thréonine/lysine sur le gain moyen journalier. En revanche, il apparaît une interaction thréonine x lysine sur l'indice de consommation. Ce dernier est accru dans le traitement 3 (0,82% de lysine et 0,65% de thréonine), tandis qu'il est plus faible dans le traitement 6 (au bas taux de lysine et pour le rapport thréonine/lysine le plus élevé). Dans l'expérience 5, les animaux ayant reçu antérieurement un régime déficient en lysine ont une croissance améliorée de 3% ($P < 0,10$), tandis que l'indice de consommation est également abaissé dans la même proportion ($P < 0,10$).

Sur la totalité de l'étude (20–100 kg de poids vif), dans l'expérience 4, en dehors de l'interaction thréonine x lysine sur la consommation d'aliment ($P < 0,05$), on ne retrouve aucun effet significatif sur la croissance et l'efficacité alimentaire. Dans l'expérience 5, la vitesse de croissance est plus faible (–3% : $P < 0,10$) après une réduction de la teneur en lysine entre 20 et 51 kg. Le gain moyen journalier est également abaissé consécutivement à un apport excessif de thréonine au taux sub-optimal de lysine ($P < 0,10$). L'interaction thréonine x lysine sur la consommation d'aliment est le reflet de celle observée pendant la période expérimentale.

L'analyse des résultats à l'abattage, dans l'expérience 4, ne fait ressortir aucune interaction entre les traitements et le sexe. On observe un effet quadratique de la thréonine sur la longueur de la carcasse (totale et restreinte : $P < 0,05$), dans le sens d'une augmentation de la longueur pour le rapport thréonine/lysine intermédiaire, et notamment au taux optimum de lysine. On note

surtout une interaction thréonine (terme linéaire) x lysine sur les épaisseurs de gras X1, X2 et X4 (respectivement $P < 0,01$, $P < 0,05$ et $P < 0,05$). Celles-ci augmentent et diminuent respectivement aux taux optimal et sub-optimal de lysine lorsqu'on ajoute de la thréonine. L'épaisseur de muscle X5 est influencée favorablement par le taux supérieur de lysine. L'effet quadratique de la thréonine s'explique notamment par une épaisseur de maigre réduite en présence d'un excès de thréonine au taux sub-optimal de lysine. L'interaction thréonine x lysine est encore observée au niveau des poids de muscle et de gras (après covariance sur le poids de la carcasse chaude : $P < 0,10$ et $P < 0,01$), de même qu'au niveau des pourcentages de muscle ($P < 0,10$) et de gras ($P < 0,01$), et des gains de muscle ($P < 0,05$) et de gras ($P < 0,10$). D'une façon générale, l'adiposité des carcasses est accentuée au taux optimal de lysine lorsqu'augmente l'apport de thréonine, tandis que l'inverse a lieu au taux sub-optimal de lysine. De même, le poids final de muscle, comme le gain journalier de muscle, diminue à mesure qu'augmente le rapport thréonine/lysine au taux optimal de lysine (0,82%), tandis qu'au taux sub-optimal de lysine (0,70%) il augmente avec l'excès de thréonine relativement à la lysine.

Dans l'expérience 5, l'examen des résultats à l'abattage fait apparaître, à la différence de l'expérience précédente, une interaction traitements x sexe pour la plupart des critères. Celle-ci s'explique globalement par le fait qu'un apport excessif de thréonine pour un taux sub-optimal de lysine se traduit, chez les mâles castrés, par une diminution du dépôt de muscle et une augmentation du dépôt gras, alors que chez les femelles on observe une tendance inversée. L'effet constaté sur la longueur de la carcasse est caractérisé par une interaction thréonine (terme linéaire) x lysine ($P < 0,05$). La longueur de la carcasse diminue avec l'élévation du rapport thréonine x lysine

Tableau V. Résultats généraux de l'expérience 3 : effets de teneurs variables en thréonine ^a.

Traitement ^b	1	2	3	4	5	6	Sexe		s _x ^c	Probabilité P	
							F	MC		Sexe	Contrastes ^d
Thréonine (%)	0,39	0,44	0,49	0,54	0,59	0,64					
MAT (%)	15,7	15,9	15,9	16,0	16,0	16,1					
Poids vif (kg)											
Initial	21,4	21,4	21,7	21,4	21,4	21,4	21,5	21,4	1,0*		
Fin période expérimentale	56,0	55,0	55,4	53,9	55,1	55,4	55,1	55,2	2,1*		
Abattage	100,0	100,4	99,4	99,8	99,8	99,7	100,2	99,7	1,8*		
Durée (j)											
Exp	52,9	49,2	51,4	47,8	48,6	48,3	48,3	51,1	1,3	0,010	—
Finition	55,1	59,5	58,3	60,1	59,1	59,4	55,8	61,3	1,3	0,0026	—
Période expérimentale											
Gain/j (g)	668	690	671	690	705	714	700	679	16,9	—	—
Aliment/j (kg)	1,85	1,93	1,85	1,85	1,88	1,91	1,85	1,91	0,032	—	—
g/kg PV ^{0,75}	120	127	121	123	123	125	121	125	1,9	—	—
Indice de consommation	2,81	2,82	2,81	2,71	2,69	2,70	2,65	2,86	0,052	0,011	—
Épaisseur de lard (mm)											
Rein	14,0	14,6	13,5	14,5	14,3	14,2	13,8	14,5	0,57	—	—
Dos	9,9	10,3	9,8	10,5	10,2	9,7	9,7	10,4	0,33	0,109	—
Cou	18,4	19,1	18,8	18,7	18,2	18,2	17,9	19,4	0,70	0,051	—

Traitement ^b	1	2	3	4	5	6	Sexe		S _x ^c	Probabilité P			
							F	MC		Sexe	Contrastes ^d		
											Thr lin	Thr quad	
Période finition													
Gain/lj (g)	807	770	766	770	764	756	815	730	14,9	0,0003	0,035	—	
Aliment/lj (kg)	2,69	2,67	2,67	2,66	2,66	2,68	2,66	2,69	0,013	0,066	—	—	
Indice de consommation	3,38	3,51	3,51	3,50	3,54	3,59	3,29	3,72	0,069	0,0002	0,0002	—	
Période totale													
Gain/lj (kg)	735	731	723	732	731	731	760	701	11,2	0,0019	—	—	
Aliment/lj (kg)	2,27	2,34	2,29	2,31	2,31	2,33	2,28	2,33	0,020	—	—	—	
Indice de consommation	3,12	3,21	3,19	3,17	3,18	3,20	3,02	3,34	0,050	0,0001	—	—	
Comp corporelle													
Poids carcasse (kg)	81,1	81,7	81,2	81,1	81,2	80,9	81,6	80,8	2,0*	—	—	—	
Rendement carcasse (%)	81,1	81,3	81,2	81,2	81,3	81,0	81,4	81,0	0,64	—	—	—	
Épaisseur de gras (mm)													
X1	20,5	23,1	21,9	23,6	23,2	21,6	21,3	23,3	0,96	0,021	—	0,048	
X2	25,4	27,3	25,1	26,8	25,9	25,9	25,0	27,1	0,69	0,012	—	—	
X4	22,2	22,9	21,8	24,1	23,3	21,7	21,1	24,2	0,71	0,0007	—	—	
Épaisseur de muscle													
X'5 (mm)	49,2	49,9	50,5	49,7	48,4	48,8	50,3	48,5	1,1	0,040	—	—	
Muscle (%)	50,5	49,5	50,6	49,3	49,6	50,1	50,8	49,0	0,47	0,0007	—	—	
Gras (%)	26,4	27,9	26,6	28,3	27,7	26,8	26,1	28,4	0,61	0,0022	—	0,118	
Poids de muscle (kg) ^e	37,48	36,69	37,64	36,62	36,70	37,26	37,69	36,44	0,34	0,0022	—	—	
Poids de gras (kg) ^e	19,59	20,73	19,62	20,99	20,62	19,84	19,39	21,07	0,45	0,0018	—	0,114	
Gain de muscle/lj (g) ^f	255	235	246	235	233	233	257	222	9,0	0,0009	0,102	—	
Dépôt de gras/lj (g) ^f	175	188	169	193	183	166	178	181	7,4	—	—	0,108	

^a 20 animaux par traitement et par sexe : 10 femelles (F) et 10 mâles castrés (MC). ^b Teneur moyenne en matière sèche des régimes expérimentaux : 87,0% ; matières minérales : 5,8% ; lysine : 0,87%. ^c s : écart type de la moyenne. Les chiffres comportant un astérisque représentent l'écart type. ^d thr lin et thr quad : respectivement les effets linéaire et quadratique de la teneur en thréonine. ^e cf tableau III. Moyennes ajustées après analyse de covariance avec le poids de la carcasse chaude. ^f Valeurs moyennes pendant la phase de finition.

Tableau VI. Résultats généraux de l'expérience 4 : équilibre lysine-thréonine a.

Traitement ^b	1	2	3	4	5	6	Sexe		S _x ^c	Probabilité P	
							F	MC		Sexe	Contrastes ^d
Lysine (%)	0,83	0,83	0,83	0,71	0,71	0,72					
Thréonine (%)	0,51	0,58	0,65	0,51	0,58	0,66					
Thr/lys	0,61	0,70	0,78	0,72	0,82	0,92					
MAT (%)	16,0	16,1	16,0	16,5	16,0	15,9					
Poids vif (kg)											
Initial	21,3	21,8	21,2	21,0	21,1	21,5	21,3	21,4	1,2*		
Fin période expérimentale	50,2	53,0	52,0	50,2	50,0	49,9	50,7	51,1	2,8*		
Abattage	100,2	100,2	99,1	99,9	101,8	99,9	100,2	100,1	1,9*		
Durée (j)											
Période expérimentale	42,7	41,9	42,0	42,0	44,1	42,7	42,7	42,4	0,8	–	lys:0,099;thr quad x lys:0,101
Finition	61,8	58,4	62,3	63,6	65,3	62,2	61,4	63,1	2,0	0,069	
Période expérimentale											
Gain/lj (g)	691	744	733	695	693	673	699	711	18,7	–	lys:0,023;thr lin x lys:0,096
Aliment/lj (kg)	1,80	1,88	1,90	1,90	1,88	1,87	1,82	1,91	0,037	0,023	thr lin x lys:0,071
g/kg PV ^{0,75}	123	125	128	131	128	128	125	130	2,0	0,012	lys:0,038;thr lin x lys:0,045
Indice de consommation	2,61	2,54	2,59	2,74	2,73	2,78	2,62	2,71	0,057	–	lys:0,0009
Épaisseur de lard (mm)											
Rein	10,6	12,2	11,9	12,6	11,2	11,3	11,7	11,6	0,60	–	thr lin x lys:0,038
Dos	7,9	8,7	8,5	9,1	9,5	8,6	8,6	8,9	0,40	–	lys:0,027
Cou	15,2	17,0	16,4	17,5	17,3	16,4	16,5	16,8	0,89	–	
Période finition											
Gain/lj (g)	805	813	759	791	776	806	808	775	20,5	0,069	
Aliment/lj (kg)	2,58	2,62	2,63	2,59	2,61	2,59	2,56	2,64	0,025	0,0085	
Indice de consommation	3,22	3,23	3,47	3,31	3,40	3,23	3,19	3,43	0,077	0,0044	thr lin x lys:0,035; thr quad x lys:0,075

Traitements ^b	1	2	3	4	5	6	Sexe		s _x ^c	Probabilité P	
							F	MC		Sexe	Contrastes ^d
Période totale											
Gain/j (kg)	757	784	749	751	741	750	762	749	16,0	–	
Aliment/j (kg)	2,26	2,31	2,34	2,32	2,31	2,29	2,26	2,35	0,024	0,0005	thr quad x lys:0,042
Indice de consommation	2,99	2,96	3,13	3,10	3,14	3,06	2,94	3,15	0,060	0,0077	
Composition corporelle											
Poids de carcasse (kg)	82,5	81,7	81,1	81,6	83,4	81,8	81,9	82,2	2,1*	–	
Rendement de carcasse (%)	82,3	81,5	81,8	81,7	81,9	81,9	81,7	82,1	0,41		
Longueur carcasse (cm)	102,3	104,1	102,3	103,2	103,9	103,3	104,2	102,2	0,57	0,070	thr quad:0,015
Totale	84,7	85,9	84,8	84,8	85,9	85,1	85,9	84,5	0,46	0,098	thr quad:0,011
Restreinte											
Épaisseur de gras (mm)											
X1	19,9	21,0	23,0	24,8	22,4	21,0	20,7	23,3	1,0	0,022	thr lin x lys:0,0049
X2	24,7	25,6	28,7	27,5	27,9	25,4	25,5	27,8	1,3	0,018	thr lin x lys:0,016
X4	20,8	20,1	22,5	22,4	22,0	20,2	19,8	22,9	0,9	0,0003	thr lin x lys:0,024
Épaisseur de muscle											
X'5 (mm)	54,0	52,8	59,4	53,4	50,9	52,9	55,4	52,4	2,1	0,034	lys:0,081;thr quad:0,091
Muscle (%)	51,9	51,3	50,7	49,8	49,9	51,4	51,9	49,8	0,8	0,0034	thr lin x lys:0,060
Gras (%)	25,5	25,9	28,0	28,2	27,6	25,8	25,6	28,1	0,9	0,0023	thr lin x lys:0,0076
Poids de muscle (kg) ^e	39,05	38,41	37,90	37,30	37,66	38,52	38,91	37,38	0,55	0,0065	thr lin x lys:0,038
Poids de gras (kg) ^e	18,99	19,55	21,20	21,30	20,36	19,44	19,23	21,05	0,64	0,0079	thr lin x lys:0,0032
Gain de muscle/j (g) ^f	292	277	254	254	257	282	278	261	12,5	0,080	thr lin x lys:0,010
Dépôt de gras/j (g) ^f	173	174	190	199	189	178	173	195	11,3	0,012	thr lin x lys:0,089

^a 10 animaux par traitement : 5 femelles (F) et 5 mâles castrés (MC). ^b Teneur moyenne des régimes expérimentaux en matière sèche : 85,7% ; matières minérales : 5,2%.

^c s_x : écart type de la moyenne. Les chiffres comportant un astérisque représentent l'écart type. ^d Lys:lysine. Thr : thréonine. Effets linéaire (lin) et quadratique (quad) de thr, et interactions avec la lysine (thr lin x lys, thr quad x lys). ^e cf tableau III. Moyennes ajustées après analyse de covariance avec le poids de la carcasse chaude. ^f Valeurs moyennes pendant la phase de finition.

Tableau VII. Résultats généraux de l'expérience 5 : équilibre lysine-thréonine ^a.

Traitement ^b	1	2	3	4	5	6	Sexe		Probabilité P	
							F	MC	S _x ^c	Sexe
Lysine (%)	0,86	0,86	0,86	0,71	0,71	0,71				
Thréonine (%)	0,53	0,61	0,69	0,53	0,61	0,69				
Thr/lys	0,62	0,71	0,80	0,75	0,86	0,97				
MAT (%)	16,5	16,8	16,7	16,5	16,7	16,7				
Poids vif (kg)										
Initial	19,9	19,9	19,9	20,0	20,1	20,0	19,8	20,1	0,65*	
Fin période expérimentale	51,1	52,2	51,6	51,3	50,6	50,3	51,2	51,1	2,1*	
Abattage	99,2	100,1	101,0	101,0	100,7	99,6	100,5	100,0	2,0*	
Durée (j)										
Période expérimentale	43,8	43,9	43,5	46,1	46,7	47,1	46,4	44,2	0,8	0,059
Finition	59,4	61,4	63,2	60,1	62,1	60,6	59,5	62,8	1,5	0,006
Période expérimentale										
Gain/j (g)	716	740	733	682	659	638	682	707	12,1	–
Aliment/j (kg)	1,82	1,89	1,84	1,89	1,82	1,80	1,81	1,87	0,025	lys:0,0001; thr lin x lys:0,012
g/kg PV ^{0,75}	126	129	127	130	126	125	126	129	1,5	thr lin x lys:0,031;thr quad x lys:0,076
Indice de consommation	2,56	2,56	2,52	2,78	2,77	2,83	2,68	2,66	0,037	thr lin:0,108;thr lin x lys:0,070
Épaisseur de lard (mm)										lys:0,0001
Rein	18,1	18,6	18,5	16,8	21,5	20,6	18,8	19,2	1,4	–
Dos	11,8	12,2	11,9	13,4	14,8	14,4	12,8	13,4	0,8	–
Cou	24,4	23,6	24,9	27,3	31,4	27,3	26,6	26,4	1,7	–
										lys:0,0029;thr quad x lys:0,060

Traitement ^b	1	2	3	4	5	6	Sexe		S _x ^c	Sexe	Probabilité P	Contrastes ^d
							F	MC				
Période finition												
Gain/j (g)	817	789	789	835	810	819	834	786	16,0	0,0009	lys:0,065	
Aliment/j (kg)	2,62	2,62	2,62	2,64	2,63	2,62	2,61	2,64	0,013	0,029		
Indice de consommation	3,23	3,36	3,35	3,18	3,26	3,22	3,15	3,39	0,066	0,0004	lys:0,081	
Période totale												
Gain/j (kg)	772	767	764	764	744	736	765	751	10,7	—	lys:0,033;thr lin:0,069	
Aliment/j (kg)	2,28	2,32	2,30	2,31	2,28	2,25	2,26	2,32	0,016	0,0019	thr lin x lys:0,021	
Indice de consommation	2,96	3,04	3,02	3,03	3,08	3,07	2,97	3,10	0,046	0,0048		
Composition corporelle												
Poids carcasse (kg)	79,4	81,1	81,5	81,3	81,4	80,0	81,0	80,5	2,4*	—		
Rendement carcasse (%)	80,1	81,0	80,7	80,5	80,9	80,3	80,6	80,5	0,4	—		
Longueur carcasse (cm)	104,2	104,2	105,1	105,4	104,5	103,7	105,0	104,0	0,47	0,068	thr lin x lys:0,010	
Totale	86,1	86,2	86,7	86,9	86,0	85,5	86,8	85,6	0,43	0,013	thr lin x lys:0,029	
Restreinte	17,9	20,7	19,8	19,7	21,4	19,8	18,9	20,9	0,86	0,070	thr quad:0,027	
Épaisseur de gras (mm)	24,4	25,4	25,3	24,8	26,0	25,7	24,1	26,4	0,65	0,012		
X1	20,0	21,2	20,5	21,5	21,7	21,7	19,8	22,3	0,60	0,0037	lys:0,053	
X2												
X4												
Épaisseur de muscle												
X'5 (mm)	56,2	53,8	54,9	54,3	53,5	51,5	56,2	51,8	1,65	0,0001		
Muscle (%)	52,5	51,3	51,9	51,8	50,9	50,8	52,6	50,5	0,50	0,0004	lys:0,099	
Gras (%)	24,6	26,0	25,5	25,7	26,6	26,1	24,7	26,8	0,56	0,0069	thr quad:0,099	
Poids de muscle (kg) ^e	38,79	37,88	38,27	38,20	37,57	37,57	38,86	37,23	0,39	0,0004	lys:0,10	
Poids de gras (kg) ^e	18,30	19,19	18,71	18,85	19,55	19,36	18,15	19,83	0,45	0,0035		
Gain de muscle/j (g) ^f	281	265	272	281	270	268	288	259	9,2	0,0011		
Dépôt de gras/j (g) ^f	153	168	161	173	180	174	161	175	6,7	—	lys:0,014	

^a 20 animaux par traitement : 10 femelles (F) et 10 mâles castrés (MC). ^b Teneur moyenne en matière sèche : 85,5%. ^c S_x : écart type de la moyenne. Les chiffres comportant un astérisque représentent l'écart type. ^d Lys : lysine. Thréonine : thr. Effets linéaire (lin) et quadratique (quad), et interactions avec la lysine (thr lin x lys, thr quad x lys). ^e cf tableau III. Moyennes ajustées après analyse de covariance avec le poids de la carcasse chaude. ^f Valeurs moyennes pendant la phase de finition.

au bas taux de lysine, principalement chez les mâles castrés. La réduction du taux de lysine pendant la phase initiale de croissance (20-50 kg de poids vif) entraîne à l'abattage à 100 kg une augmentation de l'épaisseur de lard X4 ($P < 0,10$), associée à un accroissement du pourcentage de gras (26,1 vs 25,3) et du dépôt journalier de gras (176 vs 51,9%) et du poids de muscle (-2,4%) après covariance sur le poids de la carcasse chaude ($P < 0,10$). L'apport accru de thréonine pendant la phase de croissance exerce un effet quadratique sur l'épaisseur de gras X1 ($P < 0,05$), de même que sur le pourcentage et le poids final de gras ($P < 0,10$), avec une adiposité plus élevée pour un rapport thréonine/lysine intermédiaire.

DISCUSSION

L'influence de l'alimentation pendant le jeune âge sur les performances ultérieures chez le porc doit être définie en fonction du stade de la vie de l'animal à laquelle elle s'applique, ainsi que des conditions d'alimentation au cours de l'engraissement. Dans le cas considéré, il s'agissait d'une alimentation à volonté dans un intervalle de poids se situant entre 18–20 et 40–50 kg, suivie en finition d'un même plan de rationnement alimentaire avec un aliment unique. Ce dernier, renfermant 17% de MAT et normalement utilisé pour l'ensemble des phases de croissance et de finition, visait à couvrir largement les besoins en acides aminés en fin d'engraissement. En effet, comme l'ont montré Sève et Ballèvre (1981), Kyriazakis *et al* (1991), Miller *et al* (1994), il convenait ainsi d'assurer la pleine expression du potentiel de croissance compensatrice, si celle-ci devait se manifester. De plus, les animaux étant soumis à un plan de rationnement, leurs besoins en acides aminés relativement à l'énergie s'en trouvaient accrus, comparativement à l'alimentation à volonté (Bourdon et Henry, 1991).

Les résultats des 5 essais mettent bien en évidence que les effets d'une déficience ou d'un déséquilibre du régime en acides aminés durant un stade défini de la croissance sur les performances en finition s'expliquent pour une bonne part par leur incidence particulière sur l'ingestion alimentaire, selon la nature des acides aminés impliqués, lorsque les animaux sont alimentés à volonté.

Incidence du type de déficit ou déséquilibre en acides aminés sur l'ingestion alimentaire et la croissance

Comme nous l'avons rapporté antérieurement (Henry, 1983, 1985), le porc réagit à un apport sub-optimal de lysine ou de thréonine en augmentant sa consommation par unité de poids métabolique, probablement en tentant de mieux couvrir son besoin pour l'acide aminé limitant, ce qui est en accord avec les observations de Boorman (1979) sur la régulation de l'appétit pour les acides aminés chez les volailles. Il s'ensuit une croissance réduite par l'apport de l'acide aminé limitant, accompagnée d'une augmentation de l'adiposité, en raison du maintien, voire d'un accroissement, du niveau d'alimentation au dessus de l'entretien. Dans le cas du tryptophane, la situation est différente. Une réduction modérée de son apport en dessous du taux optimal pour la croissance (expérience 1) ne produit pas la réponse compensatrice observée avec la lysine et la thréonine. Au contraire, une déficience plus sévère provoque un effet fortement dépressif sur l'appétit et la croissance (expérience 2), ce qui confirme nos observations antérieures (Henry et Pastuszewska, 1976 ; Henry *et al*, 1986 ; Henry *et al*, 1992) et nos conclusions sur le rôle spécifique du tryptophane dans la synthèse de sérotonine, qui intervient à son tour dans la régulation centrale de l'ingestion alimentaire (Henry *et al*, 1992). Les dépôts journaliers

de tissus maigres et de gras sont alors simultanément affectés par la déficience en tryptophane. Avec le gaspillage important d'aliment chez les porcs recevant des apports insuffisants de tryptophane, dans l'expérience 2, on retrouve le phénomène d'aversion pour les régimes déséquilibrés en acides aminés chez les animaux soumis au libre choix, qu'il s'agisse du rat (Leung *et al*, 1968) ou du porc (Edmonds *et al*, 1987). Par ailleurs, en accord avec les observations initiales de Harper (1964), Peng *et al* (1973), un apport excessif de thréonine en présence d'un apport insuffisant de lysine (expériences 4 et 5) fournit un exemple de déséquilibre en acides aminés qui retentit défavorablement sur l'ingestion alimentaire : les porcs ont une croissance diminuée et déposent moins de gras. Au contraire, au taux optimal de lysine, l'amélioration de l'équilibre thréonine/lysine procure un effet bénéfique sur l'appétit des animaux, qui ont une croissance améliorée et déposent plus de gras. Ce résultat, à la suite d'observations antérieures (Henry et Sève, 1993 ; Sève, 1994), confirme que la prise alimentaire chez le porc en croissance peut être affectée par de faibles variations de la teneur en thréonine autour de l'optimum pour la croissance, dans le sens soit d'une augmentation (apport sub-optimal), soit d'une diminution (apport légèrement excédentaire). La spécificité de la thréonine du point de vue de son effet sur l'appétit pourrait être attribuée à l'inadaptation de son système d'oxydation, conduisant à son accumulation dans le compartiment sanguin dans le cas d'un léger excès alimentaire (Sève et Ballèvre, 1991 ; Sève, 1994).

En résumé, dans l'influence d'une simple déficience en un acide aminé limitant sur l'ingestion alimentaire chez le porc, il convient de distinguer d'une part la lysine et la thréonine, dont le déficit, s'il est léger, s'accompagne d'une hyperphagie compensatrice, et d'autre part le tryptophane, dont le déficit aboutit rapidement à une

dépression de l'appétit. Secondairement, lorsqu'il s'agit de la lysine, la tendance à l'hyperphagie compensatrice peut être contrecarrée par un excès d'un autre acide aminé, en l'occurrence la thréonine, jusqu'à provoquer à son tour un effet dépressif sur la consommation d'aliment. Dans ces différents cas, les performances de croissance sont plus ou moins affectées selon le degré de couverture du besoin en l'acide aminé limitant qui est permis par le niveau d'ingestion alimentaire. Il s'ensuit que la complexité des relations entre l'excès global de protéines et l'acide aminé limitant du régime, du point de vue de leur incidence sur l'appétit et la croissance, résulte de la nature particulière des acides aminés impliqués, par défaut ou par excès, dans le déséquilibre.

Conséquences à long terme sur la composition corporelle et la conformation des carcasses

Les conséquences d'une déficience ou d'un déséquilibre en acides aminés sur les performances en finition et la composition corporelle finale se dégagent tout naturellement des effets observés initialement sur l'ingestion alimentaire et la croissance. Un apport sub-optimal de lysine ou de thréonine affecte le dépôt de tissus maigres, mais l'accroissement du dépôt de gras qu'il procure est maintenu à l'abattage lorsqu'on applique un même plan d'alimentation pendant la finition. La légère amélioration de la croissance et de l'efficacité alimentaire en finition à la suite d'une déficience en lysine entre 20 et 50 kg de poids vif (expérience 5), comme après un apport sub-optimal de thréonine (expérience 3), conforte les résultats de la bibliographie concluant à l'effet bénéfique d'une restriction initiale en protéines (Hoberg et Zimmerman, 1978 ; Wahlstrom et Libal, 1983) ou en lysine (Thaler *et al*, 1986) sur les performances ultérieures

en finition, en alimentation à volonté, ou dans le cas d'une alimentation restreinte suivant une restriction azotée (Campbell et Biden, 1978). Mais, dans l'ensemble, l'incidence sur les performances en finition reste faible. De même, Chiba (1991, 1992, 1994) n'observait que peu d'effet d'un régime déficient en lysine entre 20 et 50 kg de poids vif sur les performances globales à 100 kg.

À la différence de ce que l'on observe avec la lysine ou la thréonine, une déficience initiale en tryptophane, en réduisant le niveau d'ingestion d'aliment, affecte à la fois la croissance des tissus maigres et le dépôt de gras, à l'image d'un auto-rationnement alimentaire. Lorsque les animaux sont soumis de nouveau à une alimentation équilibrée, ils retrouvent leur potentiel de dépôt de tissus maigres et produisent des carcasses dont l'état d'adiposité est encore réduit au stade commercial d'abattage. Mais, il n'y a pas pour autant de croissance compensatrice, de sorte que le handicap de croissance après une carence initiale en tryptophane se retrouve au stade final de l'abattage. Ces observations ont été confirmées dans un essai complémentaire (Henry, non publié) où la teneur en tryptophane était abaissée de 0,15 à 0,12 pendant 42 j entre 19 et 39 kg de poids vif en moyenne, préalablement à une alimentation égalisée en finition. La diminution du niveau d'ingestion d'aliment de 1,35 à 1,17 kg/j pendant la période expérimentale était accompagnée d'une réduction de la vitesse de croissance de 531 à 425 g/j et de l'épaisseur du lard dorsal de 15,3 à 14,1 mm. En finition, les performances étaient inchangées (respectivement 808 et 805 g pour le gain moyen journalier), tandis qu'à l'abattage les teneurs en muscle et en gras des carcasses étaient comparables (50,6% pour le taux de muscle, respectivement 26,6 et 26,5% pour la teneur en gras).

Le même effet dépressif sur l'ingestion alimentaire, accompagné d'une diminution à la fois des dépôts de tissus maigres et de gras, est observé en présence d'un excès

de thréonine dans un régime insuffisamment pourvu en lysine. Dans ce cas, la réduction de l'état d'adiposité à la fin de la période expérimentale est retrouvée au poids final d'abattage, après que les animaux ont été soumis au même régime alimentaire en finition.

En dehors des effets globaux sur la composition corporelle, une déficience ou un déséquilibre en acides aminés du régime peut affecter différemment la conformation des carcasses, et notamment leur longueur, au poids commercial d'abattage. C'est ainsi qu'à la suite d'un apport restreint de lysine entre 18 et 47 kg de poids vif (expérience 1) la longueur de la carcasse est augmentée au poids final de 100 kg comparativement à un régime témoin normalement pourvu en lysine en début de croissance. Cet allongement de la carcasse à un même poids d'abattage correspond à un profil de croissance initialement ralenti avec une adiposité accrue, suivi d'une croissance normale en finition. Dans l'expérience 1, il semble de la même façon qu'une restriction modérée de l'apport de tryptophane, en ralentissant légèrement la croissance, conduite à une augmentation de la longueur des carcasses au poids d'abattage de 100 kg. En revanche, dans l'essai complémentaire rapporté précédemment (Henry, non publié) comparant 0,15 et 0,12% de tryptophane entre 19 et 39 kg de poids vif en moyenne, la dépression initiale de la croissance suivie d'une alimentation égalisée en finition ne provoquait aucune modification de la longueur des carcasses au poids final de 100 kg. La longueur totale était respectivement de 101,3 et 101,7 cm pour 0,15 et 0,12% de tryptophane initialement, contre 85,2 et 85,5 cm pour la longueur restreinte.

Ces résultats corroborent nos observations antérieures (Henry *et al.*, 1971 ; Henry, 1993a), montrant qu'une amélioration quantitative (taux de protéines) et qualitative (équilibre en acides aminés) de l'apport azoté dès la phase initiale de la croissance

chez des animaux alimentés à volonté jusqu'à l'abattage contribue à l'obtention de carcasses plus courtes pour un même poids vif final, en raison d'une stimulation du développement des régions corporelles les plus précoces (jambon, poitrine) par rapport au développement en longueur (longe), selon le concept de la croissance différentielle des tissus et des compartiments corporels (McMeekan, 1940a,b,c ; Pålsson et Vergès, 1952a,b ; Davies, 1974a,b ; Robison, 1976 ; Fowler, 1980).

Dans le cas de la thréonine (expériences 4 et 5), l'explication semble moins évidente. En présence d'un taux optimum de lysine, un apport optimum de thréonine, en favorisant la croissance initiale, favorise aussi la longueur de la carcasse à l'abattage. Inversement, un déséquilibre par excès de thréonine relativement à un déficit de lysine, en réduisant l'ingestion alimentaire et la croissance pendant la phase initiale, provoque une diminution de la longueur de la carcasse au même poids d'abattage de 100 kg. Cette différence pourrait être liée à la composition corporelle à l'issue de la période expérimentale, l'adiposité accrue semblant en faveur du développement en longueur pendant la phase de finition. En tout état de cause, comme l'ont souligné Wyllie et Owen (1978) et de Greef *et al* (1992), la composition corporelle finale, en l'occurrence la répartition de l'énergie fixée entre les protéines et les lipides, de même probablement que la conformation des carcasses, peut être influencée par le passé nutritionnel et la composition corporelle antérieure. En d'autres termes, des séquences azotées variables au cours de la croissance peuvent agir d'une manière spécifique sur la conformation finale des carcasses, et de ce fait sur la répartition des pièces de découpe et leur valeur commerciale.

Les effets des variations d'équilibre entre la thréonine et la lysine sur l'ingestion alimentaire, les performances de croissance et la composition corporelle sont à distinguer

suivant le niveau de l'apport de lysine relativement au besoin optimal pour la croissance. Au taux optimal de lysine, l'influence favorable de l'accroissement du rapport thréonine/lysine de 0,61 à 0,70 (expérience 4) sur l'appétit et la croissance confirme la valeur de ce rapport recommandée dans d'autres études (Wang et Fuller, 1990 ; Henry, 1993b ; Henry et Bourdon, 1993 ; Sève *et al*, 1993 ; Sève, 1994), soit aux alentours de 0,65. À l'inverse, un déséquilibre entre la thréonine par excès et la lysine déficitaire retentit défavorablement sur l'appétit et la croissance. Les observations en finition ne font pas apparaître d'incidence sur les performances ultérieures lorsque les porcs sont soumis à une alimentation équilibrée.

Les résultats de ces différents essais font bien ressortir que le porc en finition conserve l'intégralité de son potentiel de développement musculaire à l'issue d'une phase de restriction de l'apport de l'acide aminé limitant dans un intervalle de poids compris entre 18–20 kg et 40–50 kg. Ils indiquent aussi que l'ampleur du phénomène de croissance compensatrice succédant à une période de restriction azotée pendant le jeune âge semble limitée, même si elle dépend de la sévérité de la restriction (Wahlstrom et Libal, 1983) ou du génotype (Hogberg et Zimmerman, 1978 ; de Greef *et al*, 1992). En tout état de cause, l'influence d'une restriction azotée sur les performances ultérieures dépend du stade de la vie de l'animal auquel elle est appliquée, et peut conduire, si elle est suffisamment précoce, à des effets dépressifs à long terme sur la croissance musculaire (Sève et Bal-lèvre, 1991).

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude ont montré qu'une restriction de l'apport de l'acide aminé limitant (lysine, thréonine ou trypto-

phane) chez le porc, tout comme un déséquilibre en acides aminés (lysine - thréonine), dans un intervalle de poids compris entre 18-20 et 40-50 kg, peut induire des effets spécifiques sur les performances ultérieures en finition et sur la composition corporelle finale à 100 kg, lorsque les animaux sont soumis à un même plan de rationnement alimentaire. Ces effets sont étroitement liés aux variations d'ingestion alimentaire consécutives aux manipulations de l'équilibre en acides aminés, selon la nature de ces derniers.

Deux types de réponse sont ainsi généralement observés, selon que le déficit ou le déséquilibre en acides aminés affecte distinctement ou simultanément les dépôts de tissus maigres et de gras. D'un côté, une restriction initiale affectant la croissance mais favorisant le dépôt de gras, du fait d'un appétit préservé (déficit en lysine ou en thréonine), entraîne un léger accroissement de l'adiposité des carcasses à l'abattage lorsque les conditions d'alimentation sont les mêmes pendant la phase de finition. De l'autre, une restriction initiale affectant à la fois la croissance musculaire et le dépôt de gras, par son effet dépressif sur l'appétit (déficit en tryptophane, apport excessif de thréonine en présence d'un déficit en lysine), peut produire à terme les mêmes effets qu'une restriction alimentaire globale, avec une réduction de l'adiposité des carcasses à l'abattage. Dans un cas comme dans l'autre, les effets sur le gain pondéral et l'efficacité alimentaire pendant la phase de finition sont faibles ou inexistants, ce qui permet de conclure à l'absence de croissance compensatrice après un déficit en acides aminés, tout au moins dans nos conditions d'alimentation égalisée, et malgré une légère tendance à une compensation à la suite d'une déficience initiale en thréonine dans l'expérience 3 ou en lysine dans l'expérience 4. Il en résulte que le handicap de croissance et d'efficacité alimentaire enregistré à la suite d'un déficit ou d'un déséquilibre en

acides aminés au cours d'une phase initiale de la croissance est retrouvé à l'abattage, tandis que la composition corporelle finale, de même que la conformation des carcasses, peut s'en trouver modifiée.

On serait tenté de conclure qu'un ajustement progressif des apports d'acides aminés aux besoins des animaux tout au long de leur croissance contribue à la meilleure optimisation des performances finales. Il n'en demeure pas moins que l'application de différentes séquences azotées pendant la croissance, si elles sont parfois sans incidence sur les performances globales de croissance et d'efficacité alimentaire, peut influencer la composition et la conformation des carcasses à l'abattage, et par voie de conséquence leur valeur commerciale. D'autres études sont nécessaires afin de bien maîtriser les variations des caractéristiques de composition et de conformation des carcasses à l'abattage, en fonction des niveaux des apports de nutriments énergétiques et d'acides aminés au cours des stades successifs de la croissance du porc. C'est tout le problème du rationnement alimentaire, énergétique et azoté, qui est ainsi posé.

RÉFÉRENCES

- Boorman KN (1979) Regulation of protein and amino acid intake. In : *Food Intake Regulation in Poultry* (KN Boorman, BM Freeman, eds), British Poultry Science Ltd, Edinburgh, Royaume-Uni, 87-126
- 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, Biden RS (1978) The effect of protein nutrition between 5.5 and 20 kg live weight on the subsequent performance and carcass quality of pigs. *Anim Prod* 27, 223-228
- Chiba LI (1991) Effects of dietary amino acids during 20 to 50 kg live body weight on subsequent performance and carcass characteristics of pigs. *J Anim Sci* 69 (Suppl), 366
- Chiba LI (1992) Effects of prior nutritional history on subsequent performance, carcass traits and organ weight of pigs. *J Anim Sci* 70 (Suppl), 372

- Chiba LI (1994) Effects of dietary amino-acid content between 20 and 50 kg and 50 and 100 kg live weight on the subsequent and overall performance of pigs. *Livest Prod Sci* 39, 213-221
- Davies AS (1974a) A comparison of tissue development in Pietrain and Large White pigs from birth to 64 kg live weight. I. Growth changes in carcass composition. *Anim Prod* 19, 367-376
- Davies AS (1974b) A comparison of tissue development in Pietrain and Large White pigs from birth to 64 kg live weight. II. growth changes in muscle distribution. *Anim Prod* 19, 377-387
- 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, 233-253
- Desmoulin B, Ecolan 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
- Edmonds MS, Gonyou HW, Baker DH (1987) Effect of excess levels of methionine, tryptophan, arginine, lysine and threonine on growth and dietary choice in the pig. *J Anim Sci* 65, 179-185
- 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* (TJL Lawrence, ed), Butterworths, London, Royaume-Uni, 249-263
- Greef KH de, Kemp B, Verstegen MWA (1992) Performance and body composition of fattening pigs of 2 strains during protein deficiency and subsequent realimentation. *Livest Prod Sci* 30, 141-153
- Harper AE (1964) Amino-acid toxicities and imbalances. In : *Mammalian Protein Metabolism* (HN Munro, JB Allison, eds), Academic Press, New York, États-Unis, Vol II, 87-134
- 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), Colloques de l'INRA, n° 16, vol II, INRA, Paris, France, 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 (1993a) Alimentation du porc pour la production de viande maigre : évolutions récentes et perspectives. *INRA Prod Anim* 6, 31-45
- Henry Y (1993b) Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *INRA Prod Anim* 6, 199-212
- Henry Y, Bourdon D (1993) Réduction des intrants azotés dans l'alimentation du porc en croissance : utilisation d'un modèle de régime à base de blé avec supplémentation en lysine, thréonine et méthionine. *Journées Rech Porcine en France* 25, 263-272
- Henry Y, Pastuszewska B (1976) Conséquences d'une déficiency du régime en tryptophane chez le porc sur le niveau d'ingestion et les performances de croissance. *Ann Zootech* 25, 143-148
- Henry Y, Sève B (1991) Incidence de l'équilibre en acides aminés du régime sur l'appétit et la croissance du porc, selon le taux de protéines et leur nature : l'exemple du tryptophane. *Journées Rech Porcine en France* 23, 119-126
- Henry Y, Sève B (1993) Feed intake and dietary amino acid balance in growing pigs with special reference to lysine, tryptophan and threonine. *Pig News and Information* 14 (1), 35N-43N
- 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, Duée PH, Rérat A, Pion R (1986) Determination of tryptophan requirement of growing pigs between 15 and 40 kg live weight. *Nutr Rep Internat* 34, 565-573
- Henry Y, Sève B, Colléaux Y, Ganier P, Saligaut C, Jégo P (1992) Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma amino acids and hypothalamic serotonin. *J Anim Sci* 70, 1873-1887
- Hogberg MG, Zimmerman DR (1978) Compensatory responses to dietary protein, length of starter period and strain of pig. *J Anim Sci* 47, 893-899
- INRA (1984) *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. INRA, Paris, France, 282 p
- Leung PMB, Rogers QR, Harper AE (1968) Effect of amino-acid imbalance on dietary choice in the rat. *J Nutr* 95, 483-492
- 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 université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, 254 p
- Kyriazakis I, Stamataris C, Emmans GC, Whittemore CT (1991) The effects of food protein content on the performance of pigs previously given foods with low or moderate protein contents. *Anim Prod* 52, 165-173
- McMeekan CP (1940a) Growth and development in the pig, with special reference to carcass quality characters. I. General. *J Agr Sci* 30, 276-348
- McMeekan CP (1940b) Growth and development in the pig, with special reference to carcass quality characters. II. The influence of the plane of nutrition on growth and development. *J Agr Sci* 30, 387-436
- McMeekan CP (1940c) Growth and development in the pig, with special reference to carcass quality characters. III. The effect of the plane of nutrition on the

- form and composition of bacon pig. *J Agr Sci* 30, 511-569
- Miller PS, Critser DJ, Lewis AJ, Wolverton CK (1994) The effects of dietary protein concentration on compensatory growth in barrows and gilts. In : *Nebraska Swine Report* (RK Johnson, ed), Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln, NE, États-Unis, 17-19
- Pålsson H, Vergès JB (1952a) Effects of the plane of nutrition on growth and the development of carcass quality in lambs. I. The effects of high and low planes of nutrition at different ages. *J Agr Sci* 42, 1-92
- Pålsson H, Vergès JB (1952b) Effects of the plane of nutrition on growth and the development of carcass quality in lambs. II. Effects on lambs of 30 lb carcass weight. *J Agr Sci* 42, 93-149
- Peng Y, Gubin J, Harper AE, Vavich MG, Kemmerer AR (1973) Food intake regulation: amino-acid toxicity and changes in rat brain and plasma amino acids. *J Nutr* 103, 608-617
- Robison OW (1976) Growth patterns in swine. *J Anim Sci* 42, 1024-1035
- SAS (1990) *SAS User's Guide : Statistics*. SAS Inst Inc, Cary, NC, États-Unis
- Sève B (1984) Effets à long terme de la réduction du taux de protéines dans une ration simplifiée de sevrage. Intérêts comparés de l'incorporation de poudre de lait et de la supplémentation en L-lysine HCl. *Journées rech porcine en France* 16, 347-353
- Sève B (1994) Alimentation du porc en croissance : intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. *INRA Prod Anim* 7, 275-291
- Sève B, Ballèvre O (1991) Approches métaboliques du besoin en acides aminés chez le porc en croissance. *Journées rech porcine en France* 23, 91-110
- Sève B, Ganier P, Henry Y (1993) Courbe de réponse des performances de croissance du porc à l'apport de thréonine digestible vraie mesurée au niveau iléal. *Journées rech porcine en France* 25, 255-261
- Thaler RC, Libal GW, Wahlstrom RC (1986) Effect of lysine levels in pig starter diets on performance to 20 kg and on subsequent performance and carcass characteristics. *J Anim Sci* 63, 139-144
- Wahlstrom RC, Libal GW (1983) Compensatory responses of swine following protein insufficiency in grower diets. *J Anim Sci* 56, 118-124
- Wang TC, Fuller MF (1990) The effect of the plane of nutrition on the optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. *Anim Prod* 50, 155-164
- Wyllie D, Owen JB (1978) Dietary protein content and the subsequent body composition and food intake of pigs. *J Agric Sci* 90, 69-76