

Valorisation mutuelle du L-tryptophane et de la L-thréonine supplémentaires dans l'aliment deuxième âge du porcelet.

Rôle de la thréonine déshydrogénase hépatique.

B. SÈVE, Nathalie LE FLOC'H

Institut National de la Recherche Agronomique
Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles

Avec la collaboration technique de

Maurice Alix, Georges Conseil, Hervé Demay, Michel Lefèbvre, Alain Valancogne, Raymond Vilboux aux unités expérimentales, Sylviane Barre, Yvon Colléaux, Nadine Mézière au laboratoire

Valorisation mutuelle du L-tryptophane et de la L-thréonine supplémentaires dans l'aliment deuxième âge du porcelet. Rôle de la thréonine déshydrogénase hépatique.

Cent vingt six porcelets ont été répartis, 12 jours après sevrage, en 7 lots afin de comparer un régime de base et six régimes expérimentaux supplémentés à un ou deux niveaux en L-tryptophane et/ou en L-thréonine. Le régime de base à 18 % de protéines (maïs-pois-tourteau de soja) était déjà supplémenté en L-lysine-HCl pour fournir 1% de lysine digestible et en DL-méthionine pour fournir 0,63 % d'acides aminés soufrés, les taux de tryptophane et de thréonine digestibles étant respectivement de 0,146 et 0,575%. Au cours de la période de distribution de ces régimes (5 semaines), un simple supplément de 0,035% de L-tryptophane suffit à obtenir les performances maximales, notamment en améliorant l'appétit. Le simple supplément de 0,075 % de L-thréonine réduit encore l'appétit et les performances, comparativement aux résultats obtenus avec le régime de base. La poursuite des observations jusqu'à 40 kg, les porcs recevant alors un régime standard, indique que cette addition de thréonine, permettant d'obtenir le rapport thréonine/lysine de 0,65 habituellement recommandé peut être valorisée si l'addition de L-tryptophane est portée à 0,070%, soit un rapport tryptophane/lysine de 0,215 supérieur à la recommandation usuelle de 0,18. Le doublement du supplément de thréonine (0,15 %) ne permet jamais d'améliorer les performances. L'activité thréonine déshydrogénase répond linéairement à la supplémentation en tryptophane, elle permet au porcelet de disposer des excès relatifs éventuels de thréonine. À plus long terme, entre 40 et 100 kg, les porcelets retardés par les déficits initiaux en acides aminés compensent leur retard, sur ceux ayant reçu les régimes supplémentés.

Mutual valorisation of crystalline L-tryptophan and L-threonine in the starter feed for piglets. Role of the liver threonine dehydrogenase.

One hundred and twenty six piglets, 12 days after weaning, were divided into 7 groups, in order to compare a basal diet and 6 experimental diets supplemented with one or two levels of crystalline L-tryptophan and/or L-threonine. The basal diet, 18 % protein (corn-pea-soybean meal), was already supplemented with L-lysine-HCl and DL-methionine to provide 1 % digestible lysine and 0.63% sulphur amino acids and the basal levels of digestible tryptophan and threonine were 0.146 and 0.575%, respectively. When these diets were fed (5 weeks), a simple supplement of 0.035% L-tryptophan was sufficient to obtain maximal performance, namely through an improvement of the appetite. The simple supplement of 0.075% of L-threonine further reduced the appetite and performance compared to those obtained with the basal diet. Observations up to 40 kg, pigs being fed with a standard diet, indicated that this addition of L-threonine, allowing to get the usually recommended 0.65 threonine/lysine ratio, could be valorised if the addition of L-tryptophan increased up to 0.07%, corresponding to a tryptophan/lysine ratio of 0.215 instead of 0.18%, usually recommended. Doubling the threonine supplement (0.15%) did not improve performance. The response of threonine dehydrogenase activity to L-tryptophan addition was linear, allowing the piglet to dispose of an eventual relative excess of threonine. Further observations, from 40 to 100kg, indicated that pigs with retarded growth due the initial amino acid deficiencies could compensate their initial check.

INTRODUCTION

Le déficit de tryptophane d'un régime maïs-pois a été clairement démontré dans le passé (PEREZ et BOURDON, 1982). Le niveau optimal de supplémentation en L-tryptophane dépend de l'apport des autres acides aminés neutres, notamment les aromatiques et les ramifiés (HENRY et SÈVE 1993a), et doit prendre en compte la faible digestibilité du tryptophane dans les protéines de maïs et de pois (MARISCAL-LANDIN, 1992 ; JONDREVILLE et al, 1995). Le calcul montre que l'apport de tryptophane digestible reste limitant secondaire, même si on impose l'incorporation de 15 % de tourteau de soja, pourtant riche en tryptophane, dans un aliment "porcelet deuxième âge" à base de maïs et de pois dont la teneur en protéines est limitée à 18 %. De plus, les études sur la protéine idéale indiquent que l'apport optimal de thréonine excède 60 % de l'apport du premier limitant, la lysine (WANG et FULLER, 1989; FULLER et al., 1989; CHUNG et BAKER, 1992). Sur ces nouvelles bases, la thréonine pourrait être aussi un acide aminé limitant secondaire dans ce type de régime, ce qui pose le problème d'une supplémentation adéquate. En effet, dans une expérience antérieure, (SÈVE et al, non publié, rapporté par HENRY et SÈVE, 1993b) nous avons montré qu'un excès de supplémentation en thréonine réduisait l'appétit et la croissance des porcelets. D'autres résultats (SÈVE et al, 1991) suggéraient par ailleurs que cet effet pouvait être accentué en présence d'un déficit marginal de tryptophane.

L'objectif de la présente expérience était de déterminer les niveaux optima de supplémentation en L-thréonine et en L-tryptophane d'un aliment "porcelet deuxième âge" maïs-pois-tourteau de soja à 18 % de protéines, équilibré par ailleurs en lysine et en méthionine. En outre, nous avons évalué l'effet des apports variables de thréonine et de tryptophane sur le potentiel hépatique d'oxydation de la thréonine

(LE FLOC'H et al., 1994) et l'impact sur les performances ultérieures des porcs.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Régimes expérimentaux

Les protéines du régime de base proviennent pour 24,6% de maïs (18,9% de maïs-grain et 5,7% de corn gluten feed), 37,6% de pois de printemps et 36,7% de tourteau de soja (tableau 1). Ce régime est supplémenté en L-lysine-HCl pour obtenir une concentration finale de 1 % de lysine digestible soit 3 g de lysine digestible par Mcal ED et 4,2 g par Mcal EN. Un supplément de 0,165 % de DL-méthionine permet un apport d'acides aminés soufrés de 63 % de l'apport de lysine (WANG et FULLER, 1989). Les six autres régimes expérimentaux sont caractérisés par l'addition de quantités variables de L-tryptophane et/ou de L-thréonine au régime de base. Les régimes 2 et 3 permettent d'évaluer la réponse des porcelets à un supplément simple de tryptophane ou de thréonine respectivement. En même temps, on teste, d'une part, la réponse des porcelets recevant des régimes à 0,65 % de thréonine digestible, soit 65 % de la lysine, apport considéré comme optimal par CHUNG et BAKER (1992), à deux niveaux de supplémentation en tryptophane (régimes 3, 4 et 6) et, d'autre part, la réponse des porcelets recevant des régimes à 0,181 % de tryptophane digestible, soit 18 % de la lysine, apport considéré comme optimal par CHUNG et BAKER (1992), à deux niveaux de supplémentation en thréonine (régimes 2, 4 et 5) (tableau 2). Par ailleurs, l'arrangement factoriel des régimes 4, 5, 6 et 7 permet de tester les effets du doublement de chacune des suppléments du régime de base en thréonine et tryptophane et leur interaction.

Tableau 1- Composition des régimes expérimentaux.

Régime	1 Basal	2 Basal+TRP	3 Basal+THR	4 Basal+TRP +THR	5 Basal+TRP +2THR	6 Basal+2TRP +THR	7 Basal+2TRP +2THR
Maïs	40,000	39,965	39,925	39,890	39,815	39,855	39,780
Tourteau de soja	14,600	14,600	14,600	14,600	14,600	14,600	14,600
Pois	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000	34,000
Corn Gluten Feed	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Huile de maïs	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Carbonate calcium	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250
Phosphate bicalcique	2,520	2,520	2,520	2,520	2,520	2,520	2,520
Chlorure de sodium	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
Prémélange OVA (1)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
L-Lysine-HCl	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115
DL-Méthionine	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
L-Tryptophane	0,000	0,035	0,000	0,035	0,035	0,070	0,070
L-Thréonine	0,000	0,000	0,075	0,075	0,150	0,075	0,150

(1) OVA oligo-éléments, vitamines, additifs.

Tableau 2 - Apports nutritionnels des régimes expérimentaux en protéines et acides aminés digestibles, d'après analyses des matières premières et données de digestibilité (Mariscal-Landin 1992; Jondreville et al 1995).

Régime	Basal	Basal+TRP	Basal+THR	Basal+TRP +THR	Basal+TRP +2THR	Basal+2TRP +THR	Basal+2TRP +2THR
Protéines totales	18,08	18,08	18,09	18,09	18,10	18,09	18,10
Protéines digestibles	15,13	15,15	15,18	15,23	15,20	15,25	
Tryptophane (Trp)	0,146	0,181	0,146	0,181	0,181	0,216	0,216
Thréonine	0,575	0,575	0,650	0,650	0,725	0,650	0,725
Lysine	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002
Méthionine	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
A. A. soufrés (1),	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631
Phénylalanine	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761
A. A. aromatiques (1)	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317
Isoleucine	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684
Leucine	1,341	1,341	1,341	1,341	1,341	1,341	1,341
Valine	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748
Histidine	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
Arginine	1,190	1,190	1,190	1,190	1,190	1,190	1,190
Trp/LNAA (2)	3,57	4,43	3,57	4,43	4,43	5,28	5,28
Acide aspartique	1,547	1,547	1,547	1,547	1,547	1,547	1,547
Serine	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764
Acide glutamique	3,233	3,233	3,233	3,233	3,233	3,233	3,233
Glycine	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619
Alanine	0,772	0,772	0,772	0,772	0,772	0,772	0,772
Proline	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824
N essentiel	52,05	52,14	52,23	52,32	52,49	52,40	52,58
% N digestible							

(1) A. A. soufrés méthionine + cystine, A. A. aromatiques tyrosine, phénylalanine.

(2) LNAA acides aminés neutres lourds, ramifiés (isoleucine, leucine, valine) et aromatiques.

1.2. Animaux, schéma expérimental

Une trentaine de portées croisées Piétrain x Large-White, sevrées entre 3 and 4 semaines d'âge, sont sélectionnées pour fournir chacune au moins un lot de 4 porcelets de même sexe (femelles ou castrats) et de poids voisins. Pendant 12 jours, les porcelets du même lot sont placés dans une loge collective et reçoivent à volonté l'aliment premier âge standard. Pour constituer un triplet définitif, on choisit les trois porcelets les plus homogènes du lot. Chaque triplet d'un sexe est apparié à un triplet de l'autre sexe, ne provenant pas nécessairement de la même portée, sur la base de l'âge et du poids moyen des porcelets. Les triplets appariés des deux sexes reçoivent la même combinaison prédéfinie des traitements ou régimes expérimentaux. Ces régimes sont attribués au hasard à l'intérieur de chaque triplet. Ce dispositif correspond à trois répétitions par sexe d'un schéma en blocs incomplets équilibrés de type V ($t = 7$, $k = 3$, $b = 7$,

$l = 1$, $r = 3$, selon les notations de COCHRAN et COX, 1957). En définitive, chacun des 7 régimes expérimentaux est distribué à 24 porcelets, 12 mâles et 12 femelles, et l'expérience implique au total 126 porcelets.

1.3. logement, conduite de l'expérience

Les porcelets sont logés dans quatre salles d'une capacité de 12 porcelets et deux salles d'une capacité de 20 porcelets. On place les porcelets d'un même triplet dans 3 loges individuelles contiguës sur caillebotis métallique. Les triplets appariés de deux sexes, formant un bloc, sont mis en lots simultanément ou au plus à une semaine d'intervalle. Les répartitions des blocs à l'intérieur de la salle, et celle des régimes dans chaque bloc, sont effectuées au hasard. La transition entre l'alimentation standard premier âge et les aliments expérimentaux deuxième âge est effectuée en trois jours, pendant lesquels la distribution d'aliment est limitée à

300 g/j. Ensuite, les régimes expérimentaux sont distribués à volonté pendant 5 semaines. L'eau de boisson est disponible à volonté au moyen d'abreuvoirs automatiques de type sucette.

Au jour 35, les porcelets des deuxièmes répétitions de chaque sexe sont abattus. A partir de 10 heures du matin, les nourrisseurs automatiques sont fermés simultanément pour chaque couple mâle + femelle appartenant au même bloc en respectant un intervalle de temps de 10 min. Les abattages ont lieu à partir de 14 h soit 4 heures après la dernière prise alimentaire. Les foies sont prélevés immédiatement après saignée, pesés, refroidis et des échantillons sont découpés puis congelés dans l'azote liquide en vue des déterminations d'activités enzymatiques.

Les porcs non abattus au jour 35 reçoivent le régime 2ème âge standard. Lorsque le poids moyen d'un bloc atteint 30 kg, les porcs sont transférés dans le bâtiment d'engraissement, dans des salles de 60 loges individuelles (30 de chaque côté d'un couloir), sur paille, les triplets appariés mâles et femelles en vis-à-vis. À partir de 40 kg de poids vif, les animaux reçoivent l'aliment standard d'engraissement. L'eau de boisson est disponible à volonté au moyen d'abreuvoirs automatiques de type sucette.

Ces porcs sont finalement abattus à 100 kg de poids vif, la carcasse est pesée puis fendue et les mesures habituelles sont effectuées au Fat-O-Meat'er (FOM). Après 24 h de ressuyage, la demie carcasse gauche est pesée à nouveau et subit la découpe parisienne normalisée. Les poids et pourcentages de muscle et de gras sont déterminés selon les équations de DESMOULIN et al, (1988)

1.4. Analyses de laboratoire

Des contrôles analytiques de matière sèche, cendres protéines et acides aminés sont effectués selon des méthodes précédemment décrites (SÈVE et al, 1995), sur les matières premières et les aliments expérimentaux utilisés dans l'expérience. L'activité hépatique de la thréonine déshydrogénase (TDG), principale enzyme impliquée dans l'oxydation de la thréonine en excès (BALLÈVRE et al, 1991), est effectuée selon les méthodes décrites par LE FLOC'H et al (1994).

1.5. Analyse statistique des résultats

Les données zootechniques et biochimiques sont analysées statistiquement en utilisant les procédures GLM de SAS (1989). Les effets du sexe sont testés en utilisant l'erreur donnée par la variation résiduelle entre triplets, en éliminant l'effet blocs. Les effets des régimes expérimentaux et leur interaction avec le sexe sont testés en utilisant l'erreur donnée par la variation résiduelle intra-bloc. Lorsque les périodes sont identifiées par des valeurs de poids, le poids initial et(ou) le poids final sont utilisés comme covariables. Les résultats présentés aux tableaux sont les moyennes ajustées selon le modèle statistique utilisé. Lorsque l'effet du régime est significatif ($P < 0,05$), les comparaisons entre moyennes sont effectuées deux à deux par des tests de Student. Les effets linéaires et quadratique des suppléments en thréonine et tryptophane, les effets du doublement de chaque supplémentation et leur interaction sont testés par la méthode des contrastes.

2. RÉSULTATS

2.1. Performances zootechniques mesurées à différents stades (tableau 3)

Au cours de la période de distribution des régimes expérimentaux (35 jours), on observe un effet favorable sur croissance et ingestion du supplément simple de tryptophane ($P < 0,01$) (régime 2). En revanche, on relève un effet dépressif sur croissance ($P < 0,01$), ingestion ($P < 0,01$) et efficacité alimentaire ($P < 0,05$) du supplément simple de thréonine (régime 3). L'étude des contrastes montre des effets linéaires et quadratiques ($P < 0,01$) sur croissance et ingestion de l'addition de tryptophane au régime déjà supplémenté, au premier niveau, en thréonine. Ceci indique que le tryptophane ne fait que compenser l'effet dépressif de la thréonine, le doublement du supplément de tryptophane ne permettant pas de valoriser la thréonine supplémentaire. On n'observe en aucun cas un effet favorable du doublement du supplément de tryptophane.

À 40 kg de poids vif, on observe des effets favorables du supplément simple de tryptophane ($P < 0,05$) sur la croissance et l'efficacité alimentaire, sans effet sur l'ingestion. L'effet dépressif du supplément simple de thréonine reste significatif sur la croissance et l'ingestion ($P < 0,10$) mais pas sur l'efficacité alimentaire. L'étude des contrastes montre des effets linéaires ($P < 0,01$) et non quadratiques sur croissance, ingestion et efficacité alimentaire de l'addition de tryptophane au régime déjà supplémenté, au premier niveau, en thréonine. Sur la base des performances mesurées après la transition élevage-engraissement, le doublement du supplément de tryptophane tend donc à valoriser le premier niveau de thréonine supplémentaire. L'amélioration de vitesse de croissance (+ 5 %) apportée par la double supplémentation en thréonine et en tryptophane (régime 6), comparativement à la simple supplémentation en tryptophane (régime 2), n'atteint pas le seuil de signification. Toutefois, au cours de la période de transition (25-40 kg, , résultats non présentés), le gain de poids est très significativement stimulé chez les porcelets ayant préalablement reçu le régime 6, comparativement à ceux ayant reçu le régime 2 (787 vs 682 g/j). De la même façon, l'étude des contrastes indique un effet favorable du second niveau d'addition de tryptophane sur la croissance et l'efficacité alimentaire ($P < 0,10$), quel que soit le niveau de supplémentation en thréonine (interaction non significative). Cette absence d'interaction suggère toutefois que l'addition supplémentaire de tryptophane ne pourrait compenser un effet défavorable éventuel, non significatif dans le présent essai, du deuxième niveau de supplémentation en thréonine.

À 60 kg de poids vif, l'effet favorable de la simple supplémentation en tryptophane n'est plus perceptible. Seul subsiste l'effet favorable sur la croissance de la double supplémentation au premier niveau de thréonine et au deuxième niveau de tryptophane du régime 6 comparativement au régime de base. Au poids vif d'abattage, à 100 kg, les effets favorables ou défavorables des diverses supplémentations sont entièrement gommés. L'avantage du régime 6 n'est plus significatif.

Tableau 3 - Performances mesurées à différents stades à partir du début de l'expérience.

Régime 2 ^{ème} âge	Basal	Basal+TRP	Basal+THR	Basal+TRP +THR	Basal+TRP +2THR	Basal+2TRP +THR	Basal+2TRP +2THR	SEM (1)	Signification Statistique (P) de l'effet régime
Fin période expérimentale (35 jours)(2)									
gmq	443 ^b	501 ^c	370 ^a	508 ^c	501 ^c	502 ^c	520 ^c	15	0,0001
cmq	764 ^b	862 ^c	702 ^a	890 ^c	845 ^c	861 ^c	889 ^c	21	0,0001
efficacité	0,577 ^b	0,583 ^b	0,530 ^a	0,576 ^b	0,597 ^b	0,585 ^b	0,586 ^b	0,014	0,0300
À 40 kg, g/d (2)									
gmq	541 ^b	578 ^{cd}	508 ^a	575 ^{cd}	563 ^{bc}	606 ^d	584 ^{cd}	12	0,0001
cmq	1102 ^{ab}	1111 ^b	1054 ^a	1127 ^b	1115 ^b	1135 ^b	1125 ^b	18	0,046
efficacité	0,492 ^{ab}	0,519 ^{bc}	0,482 ^a	0,508 ^{ab}	0,503 ^{ab}	0,537 ^c	0,522 ^c	0,010	0,0045
À 60kg, g/d (3)									
gmq	620 ^{ab}	640 ^{bc}	598 ^a	649 ^{bc}	641 ^{bc}	660 ^c	647 ^{bc}	12	0,016
cmq	1420 ^{ab}	1445 ^{bc}	1371 ^a	1490 ^c	1453 ^{bc}	1486 ^{bc}	1483 ^{bc}	24	0,011
efficacité	0,438	0,444	0,436	0,436	0,442	0,445	0,436	0,007	0,94
À 100 kg, g/d (3)									
gmq	748	756	732	750	745	760	741	13	0,82
cmq	1923	1946	1880	2009	1946	1985	1963	31	0,13
efficacité	0,391	0,389	0,390	0,374	0,383	0,382	0,378	0,005	0,26

(1) Écart-type résiduel approché d'une moyenne. Un ensemble de lettres différentes en exposant de deux moyennes sur une même ligne indique des différences significatives au seuil $P < 0,05$.

(2) Ajusté par covariance au même poids initial.

(3) Ajusté par covariance aux même poids initial et final.

2.2. Performances d'engraissement et de carcasse (tableau 4, p 214)

Au cours de la période d'engraissement de 40 à 100 kg de poids vif, les lots de porcs dont la croissance était initialement retardée, ceux ayant reçu le régime basal et le régime mono-supplémenté en thréonine compensent leur handicap (tableau 4). Ils présentent notamment une croissance significativement plus rapide et un indice de consommation significativement plus faible que les porcs ayant reçu les régime multi-supplémentés 4, 6 et 7.

À l'abattage, les poids des morceaux de découpes (résultats non présentés) ne diffèrent pas notablement. Les teneurs en muscles calculées à partir des mesures FOM ou à partir des poids des morceaux de découpes sont assez voisines et ne diffèrent pas significativement entre lots. Il en va de même pour les teneurs en tissus gras.

2.3. Acides aminés plasmatiques, activités enzymatiques du foie et oxydation post-prandiale de la thréonine (tableau 5, p 214)

À l'abattage, 4 h après la dernière prise alimentaire, la teneur en tryptophane du plasma double avec le supplément simple de tryptophane alors que la teneur en thréonine n'augmente pas significativement. De la même façon, la teneur plasmatique en thréonine, augmente avec le supplé-

ment simple de thréonine sans variation de la teneur en tryptophane.

L'étude des contrastes montre un effet linéaire positif de l'addition de tryptophane sur la teneur plasmatique en tryptophane, lorsque le régime est déjà supplémenté en thréonine. Cette teneur reste en plateau au second niveau d'addition de tryptophane, bien que l'effet quadratique ne soit pas significatif. En revanche, la teneur plasmatique en thréonine est réduite (effet linéaire, $P < 0,02$) puis reste en plateau au deuxième niveau d'addition de tryptophane (tendance à effet quadratique, $P < 0,15$). L'addition de thréonine au régime déjà supplémenté en tryptophane n'influence pas significativement la teneur plasmatique en thréonine, celle-ci n'augmente significativement qu'au second niveau d'addition (effet quadratique, $P < 0,10$). A l'inverse, on observe une réduction linéaire significative de la teneur plasmatique en tryptophane ($P < 0,01$).

L'effet dépressif du doublement de la thréonine supplémentaire sur la teneur plasmatique en tryptophane s'inverse au deuxième niveau d'addition de tryptophane (interaction significative, $P < 0,01$), on observe alors une augmentation de la teneur plasmatique en tryptophane. Cette même interaction peut s'expliquer aussi en remarquant que l'effet du doublement de la supplémentation en tryptophane n'est significatif qu'au second niveau de thréonine supplémentaire. En revanche, l'augmentation de la teneur en thréonine plasmatique ($P < 0,01$) présente une amplitude similaire quel

que soit le niveau d'addition de tryptophane (interaction non significative).

Quel que soit le mode d'expression utilisé, l'activité TDG du foie augmente avec le supplément simple de tryptophane, elle n'est pas influencée par le supplément simple de thréonine. De la même façon, l'effet stimulateur de l'addition de tryptophane au régime supplémenté au premier niveau de L-thréonine est parfaitement linéaire ($P < 0,05$, effet quadra-

tique non significatif), alors qu'on n'observe aucun effet de l'addition de thréonine au régime supplémenté au premier niveau de L-tryptophane. En revanche, les effets du doublement des additions de thréonine et de tryptophane sont tous deux positifs. Il semble que l'effet du doublement de la thréonine supplémentaire soit plus marqué au taux de tryptophane le plus élevé, mais l'interaction n'est pas significative ($P = 0,22$).

Tableau 4 - Performances d'engraissement et de carcasse

Régime 2 ^{ème} âge	Basal	Basal+TRP	Basal+THR	Basal+TRP +THR	Basal+TRP +2THR	Basal+2TRP +THR	Basal+2TRP +2THR	SEM(1)	Signification Statistique (P) de l'effet régime
de 40 à 100 kg									
gain, g/j	967 ^b	906 ^{ab}	963 ^b	893 ^a	906 ^{ab}	886 ^a	877 ^a	22	0,026
ingéré, g/j	2755	2644	2733	2707	2679	2681	2656	52	0,60
ingéré/gain	2,88 ^b	2,93 ^{ab}	2,86 ^b	3,05 ^a	2,96 ^{ab}	3,05 ^a	3,04 ^a	0,05	0,064
Muscle % de carcasse (2)									
FOM	54,68	56,07	55,92	54,47	54,87	55,67	55,96	0,67	0,44
DPN	56,41	56,47	56,46	56,54	55,45	56,68	56,19	0,75	0,94
Gras % de carcasse (2)									
DPN	19,4	19,2	19,8	20,4	19,9	20,0	21,1	0,59	0,41

(1) Écart-type résiduel approché d'une moyenne, Un ensemble de lettres différentes en exposant de deux moyennes sur une même ligne indique des différences significatives au seuil $P < 0,05$.

(2) Ajusté par covariance au même poids initial. FOM équation Fat-o-Meater, DPN équation morceaux de découpe (DESMOULIN et al 1988).

Tableau 5 - Effet de la supplémentation en acides aminés sur les acides aminés libres du plasma, l'activité de la thréonine déshydrogénase hépatique et la vitesse d'oxydation hépatique de la thréonine en glycine

Régime 2 ^{ème} âge	Basal	Basal+TRP	Basal+THR	Basal+TRP +THR	Basal+TRP +2THR	Basal+2TRP +THR	Basal+2TRP +2THR	SEM (1)	Signification Statistique (P) de l'effet régime
Tryptophane	0,121 ^a	0,242 ^b	0,127 ^a	0,185 ^{ab}	0,131 ^a	0,218 ^b	0,339 ^c	0,022	0,0001
Thréonine	1,64 ^a	2,07 ^{ab}	3,03 ^{bc}	1,58 ^a	2,97 ^{bc}	1,60 ^a	3,58 ^c	0,42	0,0195
Thréonine déshydrogénase									
U/g de foie (2)	2,28 ^a	3,20 ^b	2,41 ^{ab}	2,97 ^{ab}	3,22 ^b	3,53 ^b	4,60 ^c	0,30	0,0016
U/kg ^{0,75} (2)	136 ^a	189 ^b	144 ^a	163 ^{ab}	188 ^b	200 ^b	273 ^c	18	0,0018
Thréonine oxydée									
mg/h	474 ^a	835 ^{ab}	910 ^{bc}	733 ^{ab}	1280 ^c	1022 ^{bc}	2247 ^d	146	0,0001
mg/h/kg ^{0,75}	45 ^a	74 ^{ab}	95 ^{bc}	66 ^{ab}	118 ^c	92 ^{bc}	185 ^d	13	0,0001

(1) Écart-type résiduel approché d'une moyenne, Un ensemble de lettres différentes en exposant de deux moyennes sur une même ligne indique des différences significatives au seuil $P < 0,05$.

(2) U micromoles de thréonine oxydées par minute.

L'estimation du flux hépatique d'oxydation de la thréonine en glycine est faite selon l'équation de Michaelis-Menten à partir des données d'activité TDG, de la valeur de la constante d'affinité Km estimée par TRESSEL et al (1986) et d'une estimation de la teneur en thréonine par g de tissu hépatique à deux fois la teneur par ml de plasma (LE FLOC'H, 1995). Le supplément simple de tryptophane tend à augmenter l'oxydation de la thréonine ($P = 0,10$), le supplément simple de thréonine l'augmente également ($P < 0,01$), mais pas significativement plus. En revanche, au premier niveau de thréonine supplémentaire, l'addition de tryptophane n'influence pas l'oxydation, alors qu'au premier niveau de tryptophane supplémentaire, une stimulation de l'oxydation de la thréonine est observée lors du doublement du supplément de thréonine (effets linéaire et quadratique, $P < 0,10$). Les effets des doublements des suppléments de tryptophane et de thréonine sont tous deux significatifs ($P < 0,01$), mais le doublement de la thréonine supplémentaire est d'autant plus efficace pour augmenter l'oxydation de la thréonine que le taux de tryptophane est plus élevé (interaction, $P < 0,05$).

3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les présents résultats confirment chez le porcelet en période 2ème âge le déficit primaire en tryptophane d'un régime maïs-pois-soja déjà supplémenté en lysine et méthionine. Il est clair que l'addition du facteur limitant secondaire, la thréonine, réduit l'appétit et la croissance déjà affectés par le déficit de tryptophane en accord avec les données de RUSSELL et al. (1983). Si l'on s'en tenait strictement à la période expérimentale, on conclurait qu'une simple supplémentation en tryptophane convient, les rapports tryptophane/lysine de 0,18 et thréonine/lysine de 0,58 paraissant suffisants. Toutefois, la poursuite des observations après passage sur un régime standard commun jusqu'après le transfert des porcs au bâtiment d'engraissement suggère que l'on doit augmenter ces deux rapports à 0,22 et 0,65 respectivement. En ce qui concerne le tryptophane (Trp), cette observation confirmerait celles de HENRY et SÈVE (1993a), selon lesquelles la teneur du régime devrait être optimisée aussi bien par rapport aux acides aminés neutres lourds (LNAA) que par rapport à la lysine. L'optimum de Trp/LNAA serait dans ce cas supérieur à 4,4. En ce qui concerne la thréonine, ce résultat confirmerait les données de CHUNG et BAKER (1992) au même stade de croissance. Pourquoi l'avantage de l'optimisation de l'équilibre des protéines en tryptophane et thréonine ne s'exprime-t-il qu'après la transition élevage-engraissement ? On peut formuler l'hypothèse d'une meilleure préparation des porcelets au stress occasionné par le transfert au bâtiment d'engraissement et les changements de milieu climatique, microbien voire humain auxquels ils ont dû s'adapter.

Les données métaboliques de cette expérience en expliquent partiellement les résultats. L'addition de tryptophane à la ration augmente clairement le potentiel hépatique d'oxydation de la thréonine par la voie TDG. Des résultats similaires, impliquant l'autre enzyme d'oxydation, la sérine-thréonine déshydratase ont été rapportés par MAURON et al (1972) chez le rat. Si la cinétique de Michaelis-Menten s'applique, et si le transport de la thréonine dans le foie n'est pas perturbé (LE FLOC'H et al, 1996), cette variation d'activité se traduira par les variations de flux d'oxydation que nous avons calculées.

Contrairement à ce que nous avons observé précédemment, chez des porcelets plus jeunes (SÈVE et al, 1991), le déficit de tryptophane ne s'est pas accompagné d'une accumulation de thréonine dans le plasma. Cependant, il semble que le porcelet de cet âge régule sa concentration plasmatique de thréonine à un niveau situé entre 3 et 3,6 mg/100ml. Comme l'addition de thréonine sans tryptophane laisse à un niveau minimal l'activité de la TDG hépatique, il n'est pas possible à l'animal d'augmenter suffisamment l'oxydation de la thréonine pour effectuer cette régulation sans une baisse supplémentaire de consommation d'aliment. La thréonine alimentaire influence généralement peu l'activité de la TDG. Toutefois les présents résultats, concernant le doublement du supplément de thréonine au taux le plus élevé de L-tryptophane supplémentaire confirment des tendances observées précédemment (LE FLOC'H et al, 1994 ; SAWADOGO, 1997).

Que signifie la croissance compensatrice apparemment réalisée par les porcs ayant reçu les régimes initialement déficitaires en tryptophane à partir de 40 kg de poids vif? Il serait très imprudent d'en conclure que les apports de tryptophane, ou de thréonine, peuvent être réduits en période deuxième âge. Comme nous l'avons vu ici, même avec des rations à taux modéré de protéines, le rééquilibrage des rations en acides aminés industriels modifie le potentiel oxydatif du foie. Ces modifications sont peut-être à l'origine des effets bénéfiques observés, notamment pendant la transition élevage-engraissement. Cependant, il n'est pas exclu qu'elles modifient le besoin à plus long terme chez le porc comme chez le rat (KANG-LEE et HARPER, 1978). C'est ce qu'il conviendrait de vérifier dans une expérimentation complémentaire.

REMERCIEMENTS

Aux sociétés KYOWA HAKKO EUROPE GMBH et RALSTON-PURINA EUROPE pour leur soutien financier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALLÈVRE O., HOULIER, M.L., PRUGNAUD J., BAYLE G., BERCOVICI D., SÈVE B., ARNAL M., 1991. Am.J.Physiol., 259 (Endocrinol.Metab.24), E748-E757.
- CHUNG T. K., BAKER D. H., 1992a. J. Anim. Sci., 70, 3102-3111.

- COCHRAN W. G., COX G. M., 1957. *Experimental Designs*. 2ème édition, Wiley, New York, 611p.
- DESMOULIN B., ÉCOLAN P., BONNEAU M., 1988. *INRA Prod. Anim.* 1, 59-64.
- FULLER M. F., McWILLIAM, R., WANG T. C., GILES L. R., 1989. *Br. J. Nutr.*, 62, 255-267.
- HENRY Y., SÈVE B., 1993a. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 247-253.
- HENRY Y., SÈVE B., 1993b. *Pig News and Information*, 13 (1), 35N-43N.
- JONDREVILLE C., VAN DEN BROECKE J., GATEL F., VAN CAUWENBERGHE S., 1995. Document ITCF-EUROLYSINE, Paris, 52p.
- KANG-LEE Y. A. E., HARPER A. E., 1978. *J. Nutr.* 108, 163-175.
- LE FLOC'H N., OBLED C., SÈVE B., 1996. *Br. J. Nutr.* 75, 825-837.
- LE FLOC'H N., 1995. Thèse de doctorat. Université AIX-MARSEILLE III, 143p.
- LE FLOC'H N., SÈVE B., HENRY Y., 1994. *J. Nutr.*, 124, 1987-1995.
- MARISCAL-LANDIN, 1992. Thèse de doctorat. Université Rennes 1, 135p.
- MAURON J. F., MOTTU F., SPOHR G., 1972. *Eur. J. Biochem.* 32, 331-342.
- PÉREZ J. M., BOURDON D., 1982. *Journées Rech. Porcine en France*, 14, 283-296.
- RUSSELL L. E., CROMWELL G. L., STAHLY T. S., 1983. *J. Anim. Sci.* 56, 1115.
- SAS 1989. *SAS/STAT User's Guide*, Version 6, 4th edition, vol. 2., Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, NC, 846 pp.
- SAWADOGO M., 1997. Thèse de Doctorat - ENSA Rennes, 149 p.
- SÈVE B., MEUNIER-SALAÜN M.C., MONNIER M., COLLEAUX Y., HENRY Y., 1991. *J. Anim. Sci.*, 69, 3679-3688.
- SÈVE B., SAWADOGO M., GANIER P., COLLEAUX Y. 1995. *Journées Rech. Porcine en France*, 27, 245-252.
- TRESSEL T., THOMSON R., ZIESKE L. R., MENENDEZ M. I., DAVIS L. 1986. *J. Biol. Chem.* 261, 16428-16437.
- WANG T. C., FULLER M. F., 1989. *Br. J. Nutr.*, 62, 77-89.