

Le statut sanitaire affecte-t-il le besoin en tryptophane pour la croissance des porcelets après le sevrage ?

Nathalie LE FLOC'H (1), Delphine MELCHIOR (2), Laurent LE BELLEGO (2), J. Jacques MATTE (3), Bernard SEVE (1)

(1) INRA, UMR Système d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, 35590 Saint Gilles

(2) Ajinomoto Eurolysine S.A.S., 153 rue de Courcelles 75817 Paris

(3) Centre de R & D sur le Bovin Laitier et le Porc Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sherbrooke (Lennoxville), Québec, Canada

nathalie.lefloch@rennes.inra.fr

Le statut sanitaire affecte-t-il le besoin en tryptophane pour la croissance des porcelets après le sevrage ?

La dégradation de l'environnement dans lequel les porcelets sont élevés après leur sevrage engendre une réponse inflammatoire modérée ainsi que des modifications de l'utilisation de certains nutriments, comme le tryptophane, pour la croissance. L'objectif de cette expérience était de comparer la croissance de porcelets élevés dans de bonnes ou de mauvaises conditions sanitaires et recevant différents niveaux de tryptophane alimentaire (15, 18, 21 ou 24 % de la lysine digestible). Quarante blocs de 4 porcelets de même portée ont été sélectionnés au sevrage à l'âge de quatre semaines. Les traitements ont été comparés selon un factoriel deux statuts sanitaires x quatre niveaux de tryptophane. Les porcelets étaient nourris à volonté pendant les sept semaines de l'étude. L'interaction entre le statut sanitaire et la teneur en tryptophane de l'aliment n'était pas statistiquement significative sur l'ensemble des paramètres mesurés. La détérioration de la qualité sanitaire de l'environnement a entraîné un ralentissement de la croissance, une baisse de l'appétit et une augmentation des concentrations plasmatiques en haptoglobine, une protéine inflammatoire utilisée comme indicateur de la stimulation immunitaire. Les concentrations plasmatiques en tryptophane ont également été affectées par le statut sanitaire. L'augmentation de l'apport de tryptophane ne permet pas aux porcelets élevés dans des mauvaises conditions sanitaires de compenser le ralentissement de la croissance et la moindre consommation alimentaire par rapport aux porcelets témoins. Par rapport à ces derniers, un apport de tryptophane de 21 % de la lysine digestible et au delà semble mieux valorisé pour la croissance des porcelets de mauvais statut sanitaire.

Does sanitary status have an effect on tryptophan requirement for growth of postweaning piglets?

Degradation of the environment where piglets are housed after weaning induces a moderated inflammatory response and also modifications of tryptophan metabolism. This in turn may affect tryptophan availability for growth. The aim of this experiment was to compare growth performance of piglets reared in good or poor sanitary conditions when they were fed diets with different levels of tryptophan (15, 18, 21 or 24% of digestible lysine). Forty blocks of 4 littermate 28 days old piglets were selected at weaning. Experimental treatments (two sanitary statuses and four levels of dietary tryptophan) were compared with a 2 x 4 factorial design. Piglets were offered feed ad libitum during the seven weeks of the trial. The effect of dietary tryptophan x sanitary status interaction was never statistically significant for all measured criteria. Piglets kept in poor environment had significantly lower growth performance and feed consumption and higher plasma concentrations of haptoglobin than control pigs. Haptoglobin is a major acute phase protein in pigs and is used as an indicator of immune stimulation. They also had lower concentrations of plasma tryptophan whatever the level of dietary tryptophan. Increased dietary tryptophan did not fully prevent the consequences of sanitary status deterioration on performance. Nevertheless, piglets kept in poor sanitary conditions seemed to be more sensitive to additional tryptophan than control pigs.

INTRODUCTION

Le tryptophane est un acide aminé essentiel qui doit être apporté par l'aliment. Contrairement à la lysine qui est principalement utilisée pour l'accrétion protéique liée à la croissance, le tryptophane est impliqué dans de nombreuses fonctions biologiques comme la régulation de la prise alimentaire, la réponse au stress, le métabolisme glucidique ou encore la réponse immunitaire.

Nous avons montré que la stimulation du système immunitaire via une inflammation pulmonaire était responsable d'une modification du métabolisme du tryptophane (Melchior et al., 2004a) impliquant une augmentation de son catabolisme (Melchior et al., 2005). Par conséquent, le tryptophane est susceptible de devenir moins disponible pour l'accrétion protéique et la croissance des porcs. Ceci conduit à l'apparition d'un besoin spécifique lié aux fonctions de défense et à la détérioration de la santé. Dans le même contexte, nous avons montré que la dégradation de l'environnement sanitaire des porcelets après sevrage induit à la fois une réponse inflammatoire modérée et une diminution des performances de croissance des porcelets et de leurs concentrations plasmatiques en tryptophane indépendamment du niveau de consommation d'aliment (Le Floc'h et al., 2005). Le rétablissement de l'apport de tryptophane de l'aliment à un niveau légèrement supérieur au besoin pour la croissance est capable de restaurer les performances à un niveau très proche de celui observé chez les animaux élevés dans de bonnes conditions sanitaires. Dans cette dernière étude, seuls 2 niveaux de tryptophane avaient été testés sur des porcelets rationnés. Connaissant les effets du tryptophane sur l'appétit des porcs, la présente étude a été conduite sur des porcelets alimentés à volonté.

L'objectif de cette expérience est de déterminer l'apport de tryptophane qui permettrait d'optimiser les performances de croissance des porcelets élevés dans des conditions sanitaires dégradées. Pour ce faire, les réponses, à quatre niveaux d'apport croissant de tryptophane alimentaire, des performances de porcelets élevés dans des conditions

sanitaires dégradées ont été comparées à celles d'animaux élevés dans de bonnes conditions sanitaires. La réponse du métabolisme du tryptophane a également été évaluée en suivant les concentrations plasmatiques en cet acide aminé ainsi que celles de 2 de ses métabolites, la kynurénine et le nicotinamide.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Animaux

Pour l'ensemble de l'expérience, 160 porcelets (Piétrain x (Landrace x Large White)) issus de l'élevage de l'INRA de Saint Gilles ont été sélectionnés au moment du sevrage (4 semaines) à un poids moyen de 8,4 kg. Quarante blocs de 4 porcelets ont été constitués intra portée sur la base du poids vif. Tous les porcelets d'un même bloc ont été affectés au même statut sanitaire. Au sein d'un bloc, chaque porcelet reçoit un des quatre niveaux de tryptophane.

1.2. Aliments

Les aliments expérimentaux 1^{er} et 2^{ème} âge sont décrits dans les tableaux 1 et 2. Les aliments de base ont été formulés pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs de ce poids sauf le tryptophane qui a été maintenu à un niveau limitant. Les niveaux de tryptophane ont été graduellement augmentés par ajout de L-tryptophane libre. Les rapports entre tryptophane et lysine digestibles prédits par la formulation sont de 15 (TRP 0), 18 (TRP 1), 21 (TRP 2) et 24 (TRP 3) % et sont équivalents dans les aliments 1^{er} et 2^{ème} âge.

1.3. Schéma expérimental

La durée de l'essai était de sept semaines divisée en trois périodes : la période 1^{er} âge comprenant les trois premières semaines après le sevrage, la période 2^{ème} âge correspondant aux deux semaines suivantes, puis une période de deux semaines supplémentaires (période dite de « transition »), suivant le transfert des animaux du bâtiment de sevrage à

Tableau 1 - Composition centésimale des aliments expérimentaux

	1 ^{er} âge				2 ^{ème} âge			
	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3
Maïs	28,85	28,815	28,78	28,745	54,63	54,6	54,57	54,54
Pois	19	19	19	19	20	20	20	20
Gluten de maïs	5,74	5,74	5,74	5,74	1,5	1,5	1,5	1,5
Lactosérum doux	20	20	20	20	-	-	-	-
Tourteau de soja	19	19	19	19	18,5	18,5	18,5	18,5
Huile végétale	3	3	3	3	-	-	-	-
Sel	-	-	-	-	0,36	0,36	0,36	0,36
Carbonate de Ca	1,47	1,47	1,47	1,47	1,93	1,93	1,93	1,93
Phosphate de Ca	1,8	1,8	1,8	1,8	1,98	1,98	1,98	1,98
COV 0,5%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
L-lysine HCl	0,4	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,35	0,35
DL-méthionine	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15
L-thréonine	0,07	0,07	0,07	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1
L-tryptophane	0	0,035	0,070	0,105	0	0,03	0,06	0,09

Tableau 2 - Caractéristiques nutritionnelles des aliments expérimentaux

	1 ^{er} âge				2 ^{ème} âge			
	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3
Matières azotées totales, g/kg ¹	217,6	214,5	215,5	213,2	192,3	189,1	191,7	194,0
Acides aminés totaux g/kg ¹								
Lysine	14,5	14,4	14,3	14,3	12,6	12,5	12,5	12,3
Tryptophane	2,43	2,75	3,05	3,44	2,1	2,3	2,7	3,0
Acides aminés digestibles g/kg ²								
Lysine	12,2	12,2	12,2	12,2	10,5	10,5	10,5	10,5
Tryptophane	1,88	2,22	2,57	2,91	1,59	1,88	2,18	2,47
Valine	8,85	8,85	8,85	8,85	7,64	7,64	7,64	7,64
Leucine	18,5	18,5	18,5	18,5	15,1	15,1	15,1	15,1
Isoleucine	8,61	8,61	8,61	8,61	7,05	7,05	7,05	7,05
Energie nette MJ/kg ²	10,60	10,60	10,60	10,60	9,73	9,73	9,73	9,73

¹ valeurs mesurées ² valeurs prédites par la formulation

celui de croissance-finition. Cette transition a été réalisée sans changement d'aliment. L'aliment 1^{er} âge a été distribué pendant la période 1^{er} âge, le relais étant pris par de l'aliment 2^{ème} âge jusqu'à la fin de l'essai.

Les traitements expérimentaux, deux environnements (propre et sale) et quatre niveaux de tryptophane alimentaire, ont été comparés selon un schéma factoriel 2 x 4. La moitié des blocs a été soumise à une stimulation immunitaire modérée comme décrit précédemment par Le Floc'h et al. (2006) c'est-à-dire que ces porcelets ont été transférés, immédiatement après le sevrage, dans des salles non nettoyées après le départ d'animaux non expérimentaux appartenant à une précédente bande. Les aliments distribués à ces porcs ne contenaient pas d'antibiotique. Les mêmes conditions ont été respectées dans le bâtiment d'engraissement. Les autres blocs ont été maintenus dans des bonnes conditions sanitaires (salles parfaitement nettoyées et désinfectées, aliments contenant des antibiotiques) afin de constituer le groupe témoin. Au sein de chaque bloc, chaque porcelet a été affecté au hasard à l'un des 4 niveaux de tryptophane.

Durant toute la période expérimentale, les porcelets ont reçu l'aliment expérimental à volonté. Trois prises de sang ont été effectuées à la veine jugulaire après une nuit de jeûne 13, 36 et 43 jours après le sevrage.

1.4. Mesures et analyses

Les porcelets ont été pesés à jeun à l'issue des périodes 1^{er} et 2^{ème} âge et à la fin de l'essai. Les quantités d'aliment consommé sont calculées par différence entre la quantité distribuée et les refus. Les concentrations plasmatiques en tryptophane, kynurénine et haptoglobine ont été mesurées comme décrit précédemment (Le Floc'h et al., 2005). Les concentrations plasmatiques en nicotinamide ont été mesurées par HPLC selon une méthode adaptée de Santschi et al. (2005).

1.5. Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide de la procédure GLM du logiciel SAS (2000). L'effet de l'environnement a été testé

en utilisant l'erreur entre blocs. L'effet de niveau de tryptophane ainsi que l'interaction entre le niveau de tryptophane et l'environnement ont été testés contre l'erreur intra bloc. Les effets sont considérés comme significatifs si la probabilité est inférieure à 0,05. Néanmoins, les tendances (0,05 < P < 0,1) ont été mentionnées. Les moyennes sont comparées entre elles grâce à un test *t* de Student et déclarées significativement différentes à P < 0,05.

2. RÉSULTATS

L'interaction entre le niveau de tryptophane alimentaire et l'environnement n'est significative sur aucun des paramètres mesurés. Au cours de cet essai, quelques diarrhées transitoires ont été observées mais systématiquement traitées afin d'éviter la contamination de l'ensemble des porcs. Ces diarrhées étaient plus fréquemment observées en environnement dégradé. Sur les 160 porcelets mis en lot, 10 porcs dont 8 appartenant au lot « salles sales » sont morts.

2.1. Effet du statut sanitaire et des niveaux de tryptophane sur les performances de croissance

Les performances de croissance ainsi que la consommation alimentaire ont été calculées sur les 3 périodes expérimentales (Tableau 3) et sur l'ensemble de l'essai (Tableau 4). En effet, la réponse des performances à l'environnement sanitaire et à l'apport de tryptophane varie selon la période expérimentale considérée.

L'effet de l'environnement est significatif sur le gain moyen quotidien et la consommation d'aliment au cours des périodes 1^{er} âge et de transition en engraissement (P < 0,05). Cet effet est également significatif quand on considère la période totale : les porcelets élevés dans des conditions dégradées ont une croissance et une consommation d'aliment moindre que les porcelets élevés dans des conditions témoins. L'indice de consommation est augmenté par la détérioration de l'environnement pendant la période de transition en engraissement (P = 0,02) et une tendance est notée pendant la période 1^{er} âge (P = 0,08).

Tableau 3 - Performances de croissance des porcelets selon la teneur en tryptophane de l'aliment et l'environnement sanitaire

Environnement	Salles propres				Salles sales				ETR ¹	Effets ²
Régimes	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3		
	Période 1 ^{er} âge (4-7 semaines)									
Poids initial, kg	8,6	8,4	8,6	8,5	8,3	8,4	8,2	8,4	0,4	
Poids final, kg	13,1 ^{bc}	13,4 ^c	13,5 ^c	13,1 ^{bc}	12,1 ^a	12,2 ^a	12,4 ^a	12,6 ^{ab}	1,2	E = 0,02
GMQ, g/j	242 ^b	246 ^b	266 ^b	243 ^b	184 ^a	185 ^a	205 ^a	205 ^a	49	E = 0,001
Consommation, g/j	412 ^b	422 ^b	400 ^b	406 ^b	345 ^a	356 ^a	349 ^a	363 ^a	49	E = 0,004
IC	1,95	1,78	1,58	1,77	2,02	2,06	1,79	1,95	0,42	E = t ; Trp = t
	Période 2 ^{ème} âge (7-9 semaines)									
Poids final, kg	23,0 ^{ab}	24,4 ^c	24,3 ^c	24,1 ^{bc}	21,8 ^a	22,4 ^a	22,8 ^a	22,6 ^a	2,1	E = 0,02 ; Trp = t
GMQ, g/j	622 ^{ab}	689 ^c	675 ^c	688 ^c	608 ^a	638 ^a ^{bc}	662 ^{bc}	628 ^{ab}	81	Trp = 0,02
Consommation, g/j	925 ^b	971 ^{bc}	952 ^b	1008 ^c	860 ^a	903 ^{ab}	906 ^{ab}	897 ^{ab}	83	Trp = 0,02
IC	1,49	1,41	1,40	1,47	1,41	1,45	1,38	1,46	0,15	
	Transition (9-11 semaines)									
Poids final, kg	31,3 ^b ^c	32,8 ^c	32,6 ^c	32,5 ^c	27,0 ^a	29,1 ^b	29,8 ^b	29,3 ^b	2,6	E = 0,0001 ; Trp = 0,002
GMQ, g/j	678 ^c	703 ^c	688 ^c	701 ^c	433 ^a	548 ^b	549 ^b	555 ^b	122	E = 0,0001 ; Trp = 0,04
Consommation, g/j	1322 ^c	1373 ^c	1334 ^c	1367 ^c	999 ^a	1154 ^b	1165 ^b	1159 ^b	161	E = 0,0001 ; Trp = 0,02
IC	2,10 ^{ab}	1,98 ^b	1,97 ^b	2,01 ^b	2,29 ^a	2,26 ^{ab}	2,38 ^{ab}	2,21 ^{ab}	0,57	E = 0,02

Sur une même ligne, des lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes ajustées

¹ ETR : écart type résiduel ; ² E : effet de l'environnement ; Trp : effet du niveau alimentaire de tryptophane ; t : tendance 0,05 < P < 0,10

GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation

Tableau 4 - Performances de croissance des porcelets selon la teneur en tryptophane de l'aliment et l'environnement sanitaire calculées sur l'ensemble de la période expérimentale (n = 150).

Environnement	Salles propres				Salles sale ^s				ETR ¹	Effets ²
Régimes	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3		
	Période 4 - 11 semaines									
GMQ, g/j	478 ^c	508 ^c	508 ^c	506 ^c	383 ^a	430 ^b	443 ^b	435 ^b	52	E = 0,0003 ; Trp = 0,001
Consommation, g/j	812 ^c	843 ^c	817 ^c	847 ^c	680 ^a	723 ^{a^b}	739 ^b	739 ^b	75	E = 0,0001 ; Trp = t
IC	1,71 ^{ab}	1,66 ^{bc}	1,62 ^c	1,68 ^{bc}	1,78 ^a	1,74 ^{ab}	1,68 ^{bc}	1,71 ^{ab}	0,13	E = 0,015 ; Trp = 0,015

Sur une même ligne, les lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes ajustées

¹ ETR : écart type résiduel

² E : effet de l'environnement ; TRP : effet du niveau de tryptophane dans l'aliment ; t : tendance 0,05 < P < 0,1

On retrouve cet effet sur l'indice de consommation calculé sur l'ensemble de la période expérimentale (P = 0,015). L'effet de l'environnement n'est pas significatif pendant la période 2^{ème} âge, hormis sur le poids final à cette période (P = 0,02). Ainsi, à la fin de la période 2^{ème} âge, les porcelets élevés dans des conditions dégradées ont un poids moyen plus faible que les témoins indiquant qu'ils n'ont pas totalement compensé leur retard de croissance. A la fin de l'essai, cette différence sur le poids vif s'accroît : il y a 3,5 kg de différence entre le poids vif moyen des porcelets témoins (32,3 kg) et celui des porcelets élevés dans des conditions dégradées (28,8 kg). La différence de poids vif est la plus importante pour les porcelets ayant reçu l'aliment TRP 0 (4,3 kg) et la plus faible (2,8 kg) pour les porcelets alimentés avec l'aliment TRP 2.

L'élévation du niveau de tryptophane alimentaire n'affecte pas significativement l'indice de consommation mais une tendance à une réduction (P = 0,07) est observée pendant la période 1^{er} âge. Les effets sur la consommation journalière et le GMQ sont significatifs pendant la période 2^{ème} âge et la transition en engraissement : l'apport de tryptophane par rapport au régime de base TRP 0 se traduit par une augmentation du GMQ et de la consommation chez les porcs recevant l'aliment TRP 1 ou TRP 2. Cet effet est également significatif sur le poids final des porcs : les porcs alimentés avec le régime TRP 0, c'est-à-dire sans ajout de tryptophane libre, présentent les poids vifs les plus faibles à la fin de l'essai. Quand on considère les performances sur la période totale (Tableau 4), l'effet de l'augmentation du niveau alimentaire de tryptophane est significatif sur le GMQ (augmentation)

et l'indice de consommation (diminution) avec une tendance à une augmentation sur la consommation d'aliment ($P = 0,06$). Il y a une différence de réponse au tryptophane selon l'environnement, bien que l'interaction entre les 2 traitements ne soit pas significative. Ainsi, pour le GMQ et la consommation, l'effet du tryptophane n'est significatif qu'en environnement détérioré : l'apport de tryptophane au dessus de l'apport du régime de base améliore significativement la croissance et la consommation d'aliment avec des valeurs maximales pour les animaux ayant reçu l'aliment TRP 2. L'indice de consommation est quant à lui significativement amélioré par l'apport de tryptophane dans les deux types d'environnement, avec cette fois des valeurs optimales chez les porcs TRP 2.

2.2. Effet du statut sanitaire et des niveaux de tryptophane sur les concentrations plasmatiques en haptoglobine

Les concentrations plasmatiques moyennes en haptoglobine sont significativement affectées par l'environnement mais pas par les niveaux de tryptophane alimentaire. C'est pourquoi la figure 1 représente les valeurs moyennes calculées pour les 4 niveaux de tryptophane lors des 3 prélèvements réalisés 13, 36 et 43 jours après le sevrage. Ces valeurs moyennes sont significativement plus élevées 13 et 43 jours après le sevrage chez les porcelets élevés dans des mauvaises conditions sanitaires par rapport aux porcelets témoins. A ces 2 périodes, 63 (19/30) et 90 % (17/19) des porcs ayant des teneurs en haptoglobine supérieures à 2 g/L étaient en environnement dégradé.

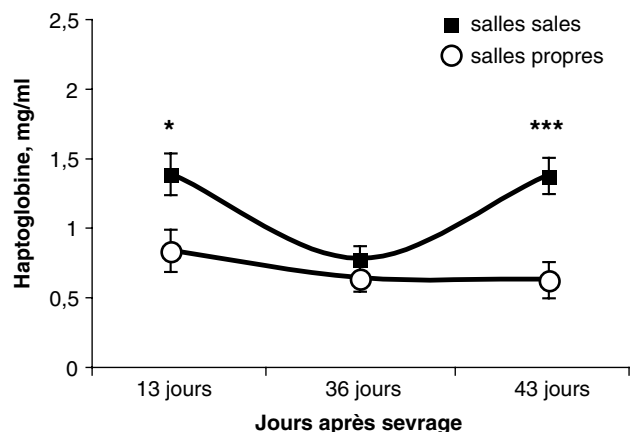


Figure 1 - Valeurs moyennes des concentrations plasmatiques en haptoglobine après le sevrage. Les sigles * et *** indiquent une différence significative ($P < 0,05$ et $P < 0,001$ respectivement) entre les 2 statuts sanitaires.

2.3. Effet du statut sanitaire et des niveaux de tryptophane sur les concentrations plasmatiques en tryptophane et ses métabolites

Les concentrations plasmatiques en tryptophane mesurées à jeun sont plus faibles chez les porcelets élevés dans les mauvaises conditions sanitaires mais la différence n'est significative ($P < 0,05$) que 43 jours après le sevrage (Tableau 5). Des tendances à $P = 0,09$ et $0,07$ sont notées 13 et 36 jours après le sevrage. L'effet du niveau de tryptophane alimentaire est significatif 13 et 43 jours après le sevrage. Les concentrations les plus basses sont trouvées 13 jours après

Tableau 5 – Effet de la teneur en tryptophane de l'aliment et de la qualité sanitaire de l'environnement sur les concentrations plasmatiques en tryptophane et en ses métabolites kynurénine et nicotinamide mesurées à jeun 13, 36 et 43 jours après le sevrage des porcelets

Environnement	Salles propres				Salles sales				ETR ¹	Effets ²
Régimes	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3	TRP 0	TRP 1	TRP 2	TRP 3		
	Période 1 ^{er} âge : sevrage + 13 j									
Tryptophane, µmol/L	16,5 ^a	26,3 ^{bc}	26,9 ^{bc}	28,5 ^c	17,5 ^{ab}	20,5 ^{ab}	23,4 ^b	23,6 ^b	9,7	E : 0,09 ; TRP : 0,0003
Kynurénine, µmol/L	0,32	0,34	0,38	0,42	0,29	0,38	0,38	0,41	0,2	
Nicotinamide, µmol/L	0,58	0,77	1,01	1,28	0,74	0,76	0,90	0,77	0,41	
	Période 2 ^{ème} âge : sevrage + 36 j									
Tryptophane, µmol/L	34,6 ^a	37,0 ^{ab}	40,3 ^b	40,3 ^b	32,5 ^a	33,8 ^a	35,3 ^{ab}	33,2	8,5	E : 0,07 ; TRP : 0,15
Kynurénine, µmol/L	0,58	0,55	0,58	0,63	0,72	0,67	0,64	0,71	0,4	
Nicotinamide, µmol/L	0,34 ^a	0,40 ^a	0,48 ^a	0,79 ^b	0,41 ^a	0,35 ^a	0,63 ^a	1,07 ^b	0,27	
	Transition : sevrage + 43 j									
Tryptophane, µmol/L	41,9 ^c	41,6 ^{cd}	47,0 ^d	44,9 ^{cd}	23,7 ^a	28,9 ^{ab}	30,0 ^b	27,9 ^b	7,8	E : 0,0001 ; TRP : 0,02
Kynurénine, µmol/L	0,45	0,48	0,49	0,51	0,52	0,63	0,50	0,53	0,2	
Nicotinamide, µmol/L	1,14	1,18	1,13	1,53	0,80	1,15	0,98	1,23	0,49	

Sur une même ligne, des lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes ajustées

¹ ETR : écart type résiduel

² E : effet de l'environnement ; TRP : effet du niveau de tryptophane dans l'aliment ; t : tendance $0,05 < P < 0,1$

le sevrage chez les porcelets alimentés avec le régime de base TRP 0 alors que les concentrations les plus élevées sont retrouvées chez les porcs ayant reçu l'aliment TRP 2 et TRP 3. Les concentrations plasmatiques en kynurénine et nicotinamide ne sont pas significativement affectées par les traitements expérimentaux sauf les valeurs de nicotinamides mesurées 36 jours après le sevrage : elles sont significativement plus élevées chez les porcelets ayant reçu l'aliment TRP 3.

3. DISCUSSION

Comme observé précédemment (Le Floc'h et al., 2005 et 2006), des valeurs moyennes en haptoglobine plus élevées coïncident avec de moins bonnes performances de croissance observées en environnement détérioré et ce pendant les phases 1^{er} âge et de transition en engraissement. L'haptoglobine est une protéine inflammatoire majeure chez le porc (Eckersall et al., 1996) et l'augmentation de ses concentrations plasmatiques est utilisée comme indicateur de stimulation immunitaire, de l'état de santé des porcs et du statut sanitaire général des élevages (Harding et al., 1997; Lipperheide et al., 2000). Une réponse inflammatoire très modérée est donc à l'origine du ralentissement de la croissance et d'une moindre consommation d'aliment chez les animaux élevés dans des conditions sanitaires dégradées. Il est difficile de faire la part du ralentissement de la croissance du à la baisse de la consommation alimentaire et aux modifications métaboliques causées par l'état inflammatoire modéré. Néanmoins, les différences de croissance précédemment observées entre porcs de différents statuts sanitaires et maintenus au même niveau de consommation alimentaire plaident en faveur de la coexistence des deux phénomènes (Le Floc'h et al., 2005 et 2006).

Nous avons mentionné dans la partie « résultats » que les concentrations plasmatiques en tryptophane n'augmentaient pas linéairement avec l'apport de tryptophane dans l'aliment. Cette réponse est assez particulière puisque la plupart des autres acides aminés essentiels s'accumulent dans le compartiment plasmatique lorsque la capacité d'utilisation par l'organisme pour l'accrétion protéique est dépassée (Lewis et al., 1977; Rosell et Zimmerman, 1985; Lewis et Peo, 1986). La réponse particulière du tryptophane est peut être attribuée à une augmentation de son catabolisme empêchant son accumulation dans le plasma dès lors que le besoin pour la croissance est couvert. En effet, le tryptophane serait capable d'augmenter sa propre dégradation en induisant l'activité de la TDO ou tryptophane dioxygénase (Knox et Mehler, 1951). Cette enzyme localisée dans le foie est responsable du catabolisme du tryptophane en excès pour produire de la kynurénine qui n'est qu'un métabolite intermédiaire. Tout comme pour les performances, il est difficile de faire la part de la baisse des teneurs en tryptophane plasmatique due à la baisse de la consommation alimentaire, et à des modifications métaboliques. En situation d'inflammation, une autre voie enzymatique est impliquée dans le catabolisme du tryptophane en kynurénine (Widner et al., 2000). Cette enzyme appelée indoleamine 2,3 dioxygénase ou IDO est principalement localisée dans les cellules immunitaires et est activée par l'interféron γ (Takikawa et al., 1998). Chez le

porc souffrant d'inflammation pulmonaire, l'activation de cette enzyme coïncide avec une baisse des concentrations plasmatiques en tryptophane associée probablement à une moindre disponibilité du tryptophane pour la croissance et les autres fonctions biologiques dans lesquelles cet acide aminé est impliqué (Melchior et al., 2004b). Nos résultats montrent des concentrations plasmatiques en tryptophane plus faibles chez les porcelets élevés dans des mauvaises conditions sanitaires, résultats qui pourraient s'expliquer à la fois par une moindre consommation alimentaire et par des modifications du métabolisme de cet acide aminé. L'absence de réponse au statut sanitaire de la kynurénine, un métabolite intermédiaire, et celle de la nicotinamide, un métabolite terminal du tryptophane, tous deux produits à partir des voies IDO et TDO, ne nous permettent cependant pas de conclure sur cette hypothèse. L'effet du tryptophane sur la nicotinamide semble diminuer avec l'âge suggérant alors une meilleure utilisation du tryptophane.

Chez le porc, les effets du tryptophane sur la croissance sont principalement liés à l'effet favorable de cet acide aminé sur l'appétit (Sève, 1999). Ainsi, le rééquilibrage d'un aliment carencé en tryptophane se traduit par une augmentation de la consommation alimentaire chez le porcelet (Sève et al., 1991) et le porc en croissance (Henry et al., 1992). Dans le présent essai, l'effet bénéfique du tryptophane sur l'appétit n'est pas observé à toutes les périodes et il est, globalement, peu marqué chez les animaux témoins. Par contre, il est très clairement observé chez les animaux élevés dans des conditions sanitaires dégradées. La réponse sur la croissance est semblable à celle observée sur la consommation alimentaire. Ceci peut être interprété comme une plus grande sensibilité des porcelets à des niveaux bas de tryptophane alimentaire quand ils sont élevés dans de mauvaises conditions sanitaires. Par conséquent, un apport supplémentaire en tryptophane par rapport au niveau de base du régime non supplémenté (TRP 0) semble beaucoup mieux valorisé pour la croissance chez les porcs de mauvais statut sanitaire. Ainsi, dans nos conditions expérimentales, un apport de tryptophane digestible équivalent à 21 % de la lysine digestible (TRP 2) améliore de 15 % la croissance des porcelets en environnement dégradé, par rapport aux porcelets nourris avec l'aliment de base (TRP 0) apportant 15 % de tryptophane par rapport à la lysine. Pour les porcelets témoins, l'augmentation de la croissance entre TRP 0 et TRP 1 et TRP 2 est de 6 %. Malgré cela, l'augmentation de l'apport de tryptophane alimentaire ne permet pas aux animaux élevés en environnement dégradé de compenser le ralentissement de la croissance par rapport aux porcelets témoins. Ceci peut s'expliquer par une différence importante sur la consommation alimentaire qui peut elle-même être limitée par la disponibilité du tryptophane, dont les concentrations plasmatiques restent basses chez les porcelets en environnement dégradé.

CONCLUSION

Cette étude a confirmé l'effet de la détérioration de l'environnement sur les performances de croissance des porcs. Ces effets, associés à des teneurs moyennes en haptoglobine plus élevées montrent que la baisse des performances est

associée à une réponse inflammatoire modérée. Le déficit en tryptophane affecte plus sévèrement les performances de croissance des porcelets élevés dans les mauvaises conditions sanitaires. Un apport supplémentaire de tryptophane ne permet pas aux porcelets de compenser la baisse des performances de croissance en environnement détérioré. Néanmoins, les porcelets élevés dans des mauvaises conditions sanitaires sont capables d'optimiser leur croissance avec un apport alimentaire de tryptophane plus élevé que celui des porcelets témoins. Ceci montre donc que le statut sanitaire, c'est-à-dire la qualité de l'environnement dans

lequel les porcelets sont élevés après le sevrage, serait bien un facteur de variation du besoin en tryptophane.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel technique du laboratoire et de l'élevage de l'INRA de Saint Gilles (SENAH), celui du laboratoire du Centre de Sherbrooke (Lennoxville) ainsi que le laboratoire d'Ajinomoto Eurolysine de Amiens. Nous remercions également Jaap van Milgen (SENAH) pour la relecture de ce manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Eckersall P. D., Saini P.K., McComb C., 1996. The acute phase response of acid soluble glycoprotein, α_1 -acid glycoprotein, ceruloplasmin, haptoglobin and C-reactive protein, in the pig. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 51, 377-385.
- Harding J. C., Baarsch M.J., Murtaugh M.P., 1997. Association of tumour necrosis factor and acute phase reactant changes with post arrival disease in swine. *J. Vet. Med.*, 44, 405-413.
- Henry Y., Colléaux Y., Ganier P., Saligaut A., 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 free amino acids and hypothalamic serotonin. *J. Anim. Sci.*, 70, 1873-1887.
- Knox W.E., Mehler A.H., 1951. The adaptative increase of the tryptophan peroxidase-oxidase system of the liver. *Science*, 113, 237-238.
- Le Floc'h N., Melchior D., Sève B., 2005. Effet de la détérioration du statut sanitaire et de la teneur en tryptophane de l'aliment sur les performances de croissance des porcelets après le sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 37, 231-238.
- Le Floc'h N., Jondreville C., Matte J. J., Sève B., 2006. Importance of sanitary environment for growth performance and plasma nutrient homeostasis during the post-weaning period in piglets. *Arch. Anim. Nutr.*, 60, 23-34.
- Lewis A.J., Peo E.R., 1986. Threonine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg. *J. Anim. Sci.*, 62, 1617-1623.
- Lewis A.J., Peo E.R., Cunningham P.J., Moser B.D., 1977. Determination of the optimum dietary proportions of lysine and tryptophan for growing pigs based on growth, food intake and plasma metabolites. *J. Nutr.*, 107, 1369-1376.
- Lipperheide C., Rabe M., Knura S., Petersen B., 2000. Effects of farm hygiene on blood chemical variables in fattening pigs. *Tierärztl. Umschau*, 55, 30-36.
- Melchior D., Sève B., Le Floc'h N., 2004a. Chronic lung inflammation affects plasma amino acid concentrations in pigs. *J. Anim. Sci.*, 82, 1091-1099.
- Melchior D., Mézière N., Sève B., Le Floc'h N., 2004b. La réponse inflammatoire diminue-t-elle la disponibilité du tryptophane chez le porc ? *Journées Rech. Porcine*, 36, 165-172.
- Melchior D., Mézière N., Sève B., Le Floc'h N., 2005. Is tryptophan catabolism increased under indoleamine 2,3 dioxygenase activity during chronic lung inflammation in pigs? *Reprod. Nutr. Dev.*, 45, 175-183.
- Rosell V.L., Zimmerman D.R., 1985. Threonine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg and the effect of excess methionine in diets marginal in threonine. *J. Anim. Sci.*, 60, 480-486.
- Santschi D.E., Berthiaume R., Matte J.J., Mustafa A.F., Girard C.L., 2005. Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88, 2043-2054.
- SAS, 2000. Software Release 8.01. SAS institute Inc, Cary NC.
- Sève B. 1999. Physiological roles of tryptophan in pig nutrition. In: G. Huether, W. Kochen, and H. Steinhart (Eds.) *Tryptophan, serotonin, and melatonin. Basic aspects and applications*. pp. 729-741. Kluwer Academic.
- Sève B., Meunier-Salaun M. C., Monnier M., Colléaux Y., Henry Y., 1991. Impact of dietary tryptophan and behavioral type on growth performance and plasma amino acids of young pigs. *J. Anim. Sci.*, 69, 3679-3688.
- Takikawa O., Kuroiwa T., Yamazaki F., Kido R., 1998. Mechanism of interferon-gamma action. Characterization of indoleamine 2,3-dioxygenase in cultured human cells induced by interferon-gamma and evaluation of the enzyme-mediated tryptophan degradation in its anticellular activity. *J. Biol.Chem.*, 263, 2041-2048.
- Widner B., Ledochowski M., Fuchs D., 2000. Interferon-gamma-induced tryptophan Degradation: Neuropsychiatric and Immunological Consequences. *Current Drugs Metabolism*, 1, 193-204.

