

Teneur en énergie nette et consommation spontanée d'aliment du porc charcutier élevé en loge individuelle

Nathalie QUINIYOU (1) et Jean NOBLET (2)

Unité Mixte Technologique Ingénierie des systèmes de production porcine

(1) IFIP-Institut du Porc, Pôle Techniques d'Élevage, BP 35104, F-35651 Le Rheu cedex

(2) INRA, UMR1079 SENAH, F-35590 Saint-Gilles

nathalie.quiniou@ifip.asso.fr

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale IFIP à Romillé avec la collaboration technique de R. RICHARD, J.-P. COMMEUREUC, P. ROCHER, L. COUDRAY, F. GUYOMARD, H. SOUFFRAN, J. GUIBERT (IFIP), et G. GUILLEMOIS (INRA).

Teneur en énergie nette et consommation spontanée d'aliment du porc charcutier élevé en loge individuelle

L'effet de la teneur en énergie nette (EN) de l'aliment est étudié chez 96 porcs mâles castrés de type maigre, élevés en loge individuelle et alimentés à volonté. Six niveaux d'EN (8,1, 8,7, 9,3, 9,9, 10,5 et 11,1 MJ/kg) sont formulés avec, pour les régimes les plus dilués, une incorporation de son de blé et tourteau de tournesol et, pour les aliments les plus concentrés, une incorporation d'huile végétale. Les rapports acides aminés digestibles/EN et minéraux/EN sont équivalents dans les six aliments. Entre 40 et 60 kg ainsi qu'entre 60 et 80 kg, les porcs ajustent leur niveau d'ingestion en fonction de la concentration énergétique de l'aliment, ce qui leur permet d'exprimer le même gain moyen quotidien (GMQ) et le même indice de consommation énergétique (ICEN). En revanche, entre 80 et 100 kg, le niveau d'ingestion n'augmente plus quand la dilution de l'aliment se poursuit en deçà de 8,7 MJ EN/kg. Il s'ensuit une diminution de la vitesse de croissance entre 80 et 100 kg ainsi que sur la période totale étudiée. La différence d'adiposité de la carcasse entre lots n'est pas significative tandis que le rendement augmente avec la teneur en EN. Sur l'ensemble de la période étudiée, l'IC en MJ d'énergie digestible ajusté pour une même composition corporelle et un même rendement de carcasse diffère significativement entre lots, mais pas l'ICEN. Nos résultats indiquent que la sélection pour des porcs de plus en plus maigres se traduit par une diminution de leur capacité d'ingestion en fin de croissance et non au début.

Effect of the dietary net energy content on the spontaneous feed intake of growing-finishing pigs housed individually

The effect of dietary net energy (NE) content was investigated on 96 lean-type barrows, housed individually and fed ad libitum. Six NE levels (8.1, 8.7, 9.3, 9.9, 10.6 and 11.1 MJ/kg) were formulated, with inclusion of wheat bran and sunflower meal in the more diluted diets and inclusion of vegetable oil in the more concentrated diets. Ratios between digestible amino acids and NE and between minerals and NE were similar in all diets. Between 40 and 60 kg and also between 60 and 80 kg, the reduction of NE content was associated with an increased daily feed intake (DFI) that resulted in similar daily NE intake and similar average daily gain (ADG) and NE conversion ratio (NECR). In contrast, between 80 and 100 kg, no further increase in DFI was observed when NE content decreased below 8.7 MJ/kg, which resulted in a reduced ADG both between 80-100 kg and over the whole experimental period. No significant difference was observed on carcass fatness but a lower dressing percentage was obtained in pigs fed low NE diets. Over the total period, the feed conversion ratio adjusted for similar body fatness and carcass yield was significantly affected by the treatment when expressed in digestible energy/kg but not when expressed as NE/kg. According to our results, the genetic selection against fat deposition has resulted in a decreased feed intake capacity during the late growing period rather than during the early growing period.

INTRODUCTION

Le porc est réputé pour être capable d'ajuster son niveau d'ingestion énergétique quand la concentration en énergie de l'aliment varie sur une large gamme de valeurs (Cole *et al.*, 1967). Dans la littérature, il apparaît toutefois que la compensation n'est pas complète lorsque la densité énergétique de l'aliment est faible, avec une légère diminution de l'ingéré énergétique (Henry, 1985 ; Campbell et Taverner, 1986). Notamment en début d'engraissement, l'apport d'aliments dilués en énergie s'accompagnerait d'une chute des performances. Cet effet est d'autant plus net que, d'après Black *et al.* (1986), la capacité d'ingestion chez le jeune porc (pesant moins de 40 kg) est inférieure à celle qui permettrait le maximum de croissance. Au contraire, en fin d'engraissement, la capacité d'ingestion du porc dépasse celle qui permettrait de maximiser la croissance musculaire et le dépôt de gras s'accroît. Ceci serait plus marqué chez le mâle castré que chez la femelle. Sur cette phase, des solutions pour réduire l'ingéré énergétique sont donc recherchées, parmi lesquelles le rationnement est la plus fréquemment appliquée. Toutefois, si cette conduite est facilement mise en œuvre en alimentation liquide (soupe), il n'en va pas de même en alimentation à sec au nourrisseur. Dans ce cas, une dilution marquée de la teneur en énergie de l'aliment pourrait s'avérer être une alternative intéressante au rationnement.

Les travaux menés sur les effets zootechniques de la teneur en énergie de l'aliment datent pour la plupart des années 70-80. Or, dans l'intervalle, les progrès de la sélection génétique vers des carcasses de plus en plus maigres et une efficacité alimentaire accrue se sont accompagnés d'une diminution de l'appétit. Il se pourrait donc que la période de croissance pendant laquelle la capacité d'ingestion ne permet pas au porc d'exprimer son potentiel se soit étendue et que, par conséquent, l'ajustement de l'ingéré spontané des porcs à une variation de la densité énergétique s'exerce sur une gamme plus étroite de valeurs.

La connaissance de la valeur nutritionnelle des aliments a également évolué au cours de ces dernières années. Ainsi, l'évaluation de la teneur en énergie nette (EN) a permis des progrès dans l'estimation de la teneur en énergie réellement disponible dans les aliments (Noblet *et al.*, 2003). Formuler des aliments qui diffèrent par leur teneur en énergie revient dans la plupart des cas à moduler les taux d'incorporation des matières premières riches en fibres ou en matières grasses. Or, la majorité des résultats disponibles dans la bibliographie repose sur des lois de réponse établies sur la base de l'énergie digestible (ED). L'objectif de notre essai est d'actualiser la réponse des porcs charcutiers à une variation de la teneur en EN de l'aliment alloué pendant l'engraissement.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'effet de la teneur en EN de l'aliment est étudié sur la consommation moyenne journalière d'aliment (CMJ), la vitesse de croissance (GMQ), l'indice de consommation (IC) et les caractéristiques de la carcasse sur deux répétitions de 48 mâles castrés issus d'un croisement entre des truies Landrace × Large White et des verrats Large White × Piétrain. Les porcs sont répartis entre six régimes dont la teneur en EN varie entre 8,1 (lot A) et 11,1 (lot F) MJ/kg (Tableau 1). Les formules sont ajustées sur la base des valeurs nutritionnelles estimées avec

Evapig® à partir des critères de composition chimique élémentaire des matières premières. Les apports minimaux en acides aminés digestibles sont raisonnés sur la base d'un apport de 0,9 g par MJ d'EN pour la lysine (LYSd) et du profil de la protéine idéale pour la thréonine (65% de l'apport en LYSd), la méthionine (30%), la méthionine et la cystine (60%) et le tryptophane (19%). L'apport en phosphore digestible est raisonné sur la base de 0,23 g/MJ EN tandis que l'apport en calcium correspond à 2,9 g/g de phosphore digestible. Le rapport entre matières azotées totales digestibles et l'EN est standardisé à 13,8 g/MJ pour les six régimes.

1.2. Logement et conduite

Deux salles de 24 loges (1,5 m × 0,95 m) chacune sont utilisées simultanément. Chaque case est équipée d'une auge et d'une pipette d'eau. La température ambiante est réglée à 23°C. Des blocs de six porcs (frères ou demi-frères) sont constitués sur la base du poids à la sortie du post-sevrage, à 63 jours. Après une période d'adaptation de 12 jours aux conditions expérimentales, ils sont pesés et répartis entre les six traitements selon un schéma en blocs complets équilibrés.

1.3. Mesures

Les porcs sont pesés tous les 21 jours entre 14h00 et 15h00 jusqu'à 100 kg, puis tous les 7 jours jusqu'à l'abattage après une mise à jeun à 7h30. Les porcs sont abattus sur 4 semaines, le poids minimum lors des trois premiers départs est fixé à 103 kg. A l'abattoir, la carcasse chaude est pesée et les épaisseurs de gras (G2) et de maigre (M2) sont mesurées pour le calcul du taux de muscle des pièces (TMP=62,19+0,729 G2+0,144 M2). Deux échantillons de chaque aliment sont prélevés chaque semaine pour la détermination de la teneur en matière sèche et pour constituer, en fin d'essai, un échantillon représentatif suivant la technique du repas fictif, sur lequel les dosages chimiques sont réalisés (matières azotées totales, lysine totale, cellulose brute, matières grasses, amidon, matières minérales).

1.4. Calculs et analyses statistiques

Chaque semaine, pour chaque porc, la quantité d'aliment consommée est calculée par différence entre la quantité d'aliment frais allouée pendant les 7 jours et les refus collectés en fin de semaine, le tout ramené sur la base de la teneur en matière sèche de l'aliment déterminée cette semaine-là. Les performances de croissance de chaque porc sont calculées sur cinq périodes différentes : durée totale de l'essai, entre un poids initial commun à tous les porcs (vers 40 kg) et le 1^{er} départ pour l'abattoir (vers 100 kg de poids moyen), entre 40 et 60 kg, 60 et 80 kg et 80 et 100 kg. Trois indices de consommation sont calculés et exprimés en kg (IC), MJ d'ED (ICED) ou MJ d'EN (ICEN) ingéré par kg de gain de poids.

Les porcs ayant eu un problème lors de l'expérience (retournement de rectum chez un porc du lot A et deux du lot B, un porc du lot A éguasillé, un porc du lot E souffrant de dermatite) ne sont pas pris en compte dans l'analyse des données. Les données sont soumises à une analyse de la variance (proc GLM, SAS version 8.02, SAS Institute Inc., USA) afin de tester les effets du lot (n=6) et du bloc intra répétition (n=16). Une analyse multifactorielle de la variance est également réalisée pour tester l'effet du stade de croissance (40-60 kg, 60-80 kg et 80-100 kg) en interaction avec le lot. Les analyses sont réalisées pour le GMQ, l'IC, l'ICED et l'ICEN sur l'ensemble de la période étudiée avec ou sans ajustement sur

Tableau 1 - Formules des aliments expérimentaux utilisés pour les deux répétitions et caractéristiques nutritionnelles attendues^{1,2}

Répétition	1					2					
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	F
Lot											
Teneur en EN, MJ/kg	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	11,1
Ingrédients, g/kg											
Blé	278	339	399,3	417	390	285	347	408	420	383	346
Orge	99	121	143	149	139	103	125	146	150,2	136,8	122,8
Maïs	119	145	171	179	167	122	148	175	180	164	148
Tourteau de soja 48	25	67,2	110	148,3	183,8	27	73,5	122	165	203	242
Tourteau de tournesol	142	104	66	38	19	140	91	42	14	7	-
Son de blé	290	174	58	-	-	276	166	55	-	-	-
Huile de tournesol	-	-	-	15	45	-	-	-	17	51	85
Lysine HCl	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,9	3,8	3,7	3,5	3,3	2,9
Méthionine		0,4	0,7	0,9	1,0	-	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Thréonine	1,1	1,3	1,6	1,6	1,5	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1
Tryptophane	-	-	0,2	0,2	0,2	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Phosphate bicalcique	3,1	5,9	8,6	10,6	11,9	3,3	6,0	8,7	10,7	11,8	13,0
Carbonate de calcium	4,8	4,3	3,8	3,7	4,0	4,8	4,4	3,9	3,8	4,0	4,1
Autres ³	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Caractéristiques nutritionnelles											
Matière sèche, g/kg	866	867	867	870	875	860	858	855	857	861	866
Matières azotées totales, g/kg	150	153	157	161	168	150	153	156	162	171	180
Matières azotées digestibles (MAD), g/kg	112	120	128	136	142	112	120	128	136	145	153
Lysine digestible (LYSd), g/kg	7,4	7,9	8,4	8,9	9,5	7,3	7,8	8,4	9,0	9,5	10,0
Méthionine digestible/LYSd, %	30	34	35	36	35	31	31	31	32	33	34
Méthionine+Cystine digestibles/LYSd, %	65	66	66	65	63	65	64	62	61	60	61
Thréonine digestible/ LYSd, %	66	68	71	70	68	65	66	66	65	66	65
Tryptophane digestible/ LYSd, %	20	19	21	20	20	20	19	19	19	19	19
Isoleucine digestible/ LYSd, %	60	62	63	64	63	62	63	64	64	65	67
Valine digestible/ LYSd, %	75	74	73	72	71	76	75	73	72	72	73
Cellulose brute, g/kg	78	63	48	39	35	76	59	43	33	32	31
Amidon, g/kg	353	395	437	444	415	356	399	442	443	404	365
Matières grasses totales, g/kg	24	22	21	34	64	24	22	21	36	70	103
Matières minérales totales, g/kg	52	50	49	49	51	51	50	48	48	50	53
Calcium (Ca), g/kg	5,5	5,8	6,2	6,6	7,1	5,5	5,9	6,2	6,6	7,0	7,4
Phosphore total, g/kg	6,6	6,1	5,7	5,5	5,6	6,5	6,0	5,5	5,4	5,5	5,7
Phosphore digestible (Pdig), g/kg	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6
Ca / Pdig, g/g	2,9	3,0	2,9	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Energie digestible, MJ/kg	11,5	12,2	13,0	13,7	14,4	11,5	12,2	12,9	13,6	14,4	15,1
Energie nette (EN), MJ/kg	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	11,1
MAD / EN, g/MJ	13,8	13,8	13,7	13,5	13,4	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8
LYSd / EN, g/MJ	0,91	0,91	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90
Pdig / EN, g/MJ	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

1. Les formules utilisées pour les deux répétitions évoluent selon les caractéristiques des matières premières disponibles.

2. Formulation réalisée sur la base des caractéristiques chimiques des matières premières et leurs caractéristiques nutritionnelles (Evapig®).

3. Mélasse de canne (25 g/kg), complément oligo-vitamines (5 g/kg) et sel (4 g/kg).

l'épaisseur de gras G2 et le rendement de carcasse, inclus en covariables dans le modèle. Des essais réalisés avec différentes teneurs en énergie dans l'aliment et corrigés pour leur teneur

en acides aminés ont été collectés dans la littérature. La plupart d'entre eux étaient formulés sur la base de l'ED, et une teneur en EN a été estimée à partir des formules d'aliment

publiées. Ces résultats ont ensuite été comparés aux nôtres, soit en valeur absolue, soit en valeur relative avec en base 100 le niveau moyen du critère intra-étude.

2. RESULTATS

Les résultats de dosage de matières azotées totales, lysine, cellulose brute, amidon, matières grasses sont en accord avec les valeurs utilisées pour la formulation, sauf pour l'aliment F de la répétition 1. Les porcs F de cette répétition ne sont donc pas conservés dans l'analyse. Les résultats moyens sur la période totale et entre 40 et 100 kg sont indiqués dans le Tableau 2 tandis que les résultats par tranche de 20 kg de poids vif sont illustrés dans les Figures 1a à 1e.

2.1. CMJ et EN ingérée

La diminution de la teneur en EN s'accompagne d'une augmentation de la CMJ. Entre 40 et 60 kg et entre 60 et 80 kg, la réponse est linéaire et proportionnelle à l'évolution de l'EN (respectivement de 2,16 à 2,67 kg/j et de 2,76 à 3,52 kg/j pendant ces deux périodes pour les porcs des lots A et F, Figure 1a). En conséquence, la quantité d'EN ingérée est similaire pour les porcs des six lots (respectivement 20,9 et 25,4 MJ/j en moyenne aux deux stades, Figure 1b). Entre 80 et 100 kg, la CMJ augmente quand la teneur en EN diminue de 11,1 à 9,3 (de 3,08 à 3,57 kg/j) dans un premier temps mais semble ensuite atteindre un plateau (en moyenne 3,64 kg/j). Ce résultat est également observé sur l'ensemble de la période étudiée et entre 40 et 100 kg.

2.2. GMQ et IC

Entre 40 et 100 kg, le GMQ est significativement inférieur chez les porcs du lot A par rapport aux autres lots. Cette différence résulte de l'écart de performance observé en fin de croissance entre les porcs du lot A et ceux des autres lots. En effet, entre 40 et 60 kg ou entre 60 et 80 kg, le lot n'a pas d'effet significatif sur le GMQ, tandis qu'entre 80 et 100 kg, le GMQ des porcs du lot A est inférieur de 198 g/j à celui des porcs des autres lots (984 vs 1182 g/j, Figure 1c). Compte-tenu des effets respectifs du lot sur la CMJ et le GMQ, une augmentation de l'IC est observée à chaque stade de croissance lorsque la teneur en EN diminue (Figure 1d).

2.3. Indice énergétique (ICEN) et qualité de la carcasse

La quantité d'EN ingérée par kg de gain de poids est identique pour les six lots quel que soit le stade de croissance considéré (interaction lot x stade : $P > 0,10$, Figure 1e). Ce résultat est cohérent avec l'absence de différence significative de TMP entre les porcs des six lots. Il peut toutefois être observé que les adiposités de carcasse minimales et maximales sont obtenues, respectivement, chez les porcs des lots A et F. Par ailleurs, les porcs recevant l'aliment le plus dilué ou le plus concentré présentent, respectivement, le rendement le plus faible ou le plus élevé ($P < 0,05$). Aussi, si les données de GMQ et d'IC sont ajustées par covariance sur la base d'une composition corporelle identique et d'un même rendement à l'abattage (Tableau 2), la précision du modèle est améliorée et les écarts entre les traitements extrêmes sont amplifiés. On peut également noter que la variation de l'ICEN ajusté entre les différents traitements est très faible et reste non significative alors que pour l'ICED il existe un écart significatif de 2 MJ d'ED entre les valeurs extrêmes.

3. DISCUSSION

En nutrition, l'approche la plus courante consiste à considérer que la quantité d'aliment ingérée spontanément par le porc lui permet de satisfaire ses besoins nutritionnels, sur la base de l'élément le plus limitant (Henry, 1985).

Dans la plupart des cas, l'accès à l'énergie est le facteur déterminant de l'ajustement de l'ingéré, mais d'autres nutriments peuvent également agir tels que les acides aminés (Henry *et al.*, 1992 ; Henry, 1993 ; Quiniou *et al.*, 1995).

Quand la densité énergétique diminue, l'augmentation de la quantité d'aliment ingérée est un mécanisme permettant de réguler l'ingéré énergétique. Toutefois, la plasticité de cette adaptation suppose que la capacité maximale d'ingestion ne soit pas atteinte dans le contexte d'élevage (taille de groupe, surface par porc, température ambiante, type génétique, état sanitaire, etc. ; Nyachoti *et al.*, 2004).

Le poids vif est également un facteur déterminant très important de la capacité digestive. Malgré le développement précoce des organes digestifs (Quiniou et Noblet, 1995), il s'avère que le porc est dans l'impossibilité d'exprimer son potentiel de croissance en début de période de croissance à cause d'une ingestion insuffisante d'énergie, quelle que soit la densité de l'aliment. Selon Black *et al.* (1986), aucune modulation de l'ingéré en fonction de la densité de l'aliment n'est observée chez les porcs de moins de 20 kg. Entre 20 et 50 kg, la CMJ augmente quand la teneur en énergie diminue mais l'équilibre est rompu dès que la teneur en ED devient inférieure à 14 MJ/kg, soit un régime encore très concentré (environ 9,9 MJ EN/kg sur la base d'un ratio EN/ED de 71%).

Nos données ne nous permettent pas de discuter précisément le palier de poids à partir duquel la capacité d'ingestion devient modulable en fonction du contexte nutritionnel, compte-tenu du fait que nos observations débutent seulement après 40 kg. Néanmoins, dès le 1^{er} stade de croissance considéré, i.e. entre 40 et 60 kg, les porcs parviennent à compenser par un ingéré alimentaire accru la moindre densité énergétique de l'aliment.

Ce résultat amène à rejeter l'hypothèse initiale d'une extension, consécutive à l'évolution génétique des porcs, de la gamme de poids sur laquelle l'ingéré énergétique est le facteur limitant principal en début de croissance.

Black *et al.* (1986) relie la capacité d'ingestion (CI) au poids vif (PV) suivant l'équation $CI = 0,115 PV^{0,803}$, pour une teneur en matière sèche de 87% dans l'aliment. Cette équation appliquée au porc de 50, 70 et 90 kg, soit le poids moyen pendant chaque stade de croissance étudié, revient à une quantité d'aliment maximale ingérée de, respectivement, 2,66, 3,49 et 4,27 kg/j. Or, dans notre étude, la CMJ maximale correspondante (atteinte par les porcs du lot A) est en moyenne de 2,67, 3,52 et 3,61 kg/j. Pendant les deux premiers stades, il apparaît donc que la CMJ des porcs du lot A est très proche de la capacité d'ingestion estimée par Black *et al.* (1986). En revanche, en fin d'engraissement, ce n'est plus le cas et la CMJ reste très en deçà de la prédiction réalisée à partir des données acquises dans les années 60 à 80. Il semblerait donc que l'évolution génétique vers une moindre adiposité corporelle intervienne sur la capacité d'ingestion plutôt en fin qu'en début de croissance. Ceci est cohérent avec la mise en place tardive du tissu adipeux, qui conduit à des besoins énergétiques, donc une CMJ, accrus à ce stade.

Le plafond de CMJ atteint par les porcs au-delà de 80 kg dès que la teneur en EN diminue en deçà de 9,3 MJ/kg entraîne

une diminution de la quantité d'EN ingérée. Cette réduction est mineure chez les porcs alimentés avec l'aliment à 8,7 MJ EN/kg et n'entraîne pas de modification significative du GMQ. En revanche, quand la teneur en EN diminue à hauteur de 8,1 MJ/kg, la quantité d'EN ingérée en moins est suffisante pour pénaliser de façon significative le GMQ. Chez ces porcs, bien

que l'écart ne soit pas significatif avec les autres lots, le TMP répond de façon cohérente avec une restriction énergétique. Cette observation se distingue des résultats antérieurs disponibles dans la littérature, qui considéraient jusqu'à présent que l'incidence de la teneur en énergie était peu marquée chez les porcs lourds.

Tableau 2 – Performances moyennes selon la teneur en énergie nette de l'aliment

Lot	A	B	C	D	E	F	Statistiques ¹			Effet ² du lot
							ETR	Lot	Bloc	
Teneur en EN, MJ/kg	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	11,1				
Nombre de porcs	14	14	15	16	15	8				
Période totale										
Poids initial, kg	35,1	34,9	35,0	34,7	34,9	35,8	2,3	ns	***	
Poids final, kg	106,7	109,2	108,7	107,4	109,6	111,1	4,4	ns	**	
GMQ, g	1044 ^a	1125 ^b	1136 ^b	1177 ^b	1155 ^b	1154 ^b	79	***	***	quadratique
GMQ ajusté, g ³	1021 ^a	1115 ^b	1133 ^{bc}	1179 ^c	1165 ^{bc}	1170 ^{bc}	71	***	**	quadratique
CMJ, kg	3,21 ^a	3,22 ^a	3,13 ^a	2,91 ^b	2,74 ^c	2,69 ^c	0,18	***	***	quadratique
EN ingérée, MJ/j	26,0 ^a	28,0 ^b	29,1 ^{bc}	28,8 ^{bc}	28,7 ^{bc}	29,8 ^c	1,7	***	***	quadratique
IC, kg/kg	3,08 ^a	2,86 ^b	2,77 ^b	2,49 ^c	2,38 ^c	2,33 ^c	0,20	***	ns	linéaire
IC ajusté, kg/kg ⁴	3,14 ^a	2,89 ^b	2,78 ^b	2,49 ^c	2,34 ^d	2,26 ^d	0,18	***	ns	linéaire
ICED, MJ/kg	35,4	34,9	35,7	33,9	34,2	35,2	2,7	ns	ns	
ICED ajusté, MJ/kg ⁴	36,2 ^a	35,2 ^{ab}	36,0 ^a	33,9 ^b	33,6 ^{ab}	34,2 ^{ab}	2,4	*	ns	linéaire
ICEN, MJ/kg	25,0	24,9	25,7	24,6	25,0	25,9	2,0	ns	ns	
ICEN ajusté, MJ/kg ⁴	25,8	25,1	25,9	24,6	24,6	25,2	1,7	ns	ns	
Entre 40 et 100 kg										
Poids initial, kg	39,5	40,9	40,8	40,1	39,1	42,1	4,3	ns	ns	
Poids final, kg	102,5	102,1	100,8	100,7	100,6	101,3	3,6	ns	ns	
GMQ, g	1053 ^a	1142 ^b	1149 ^b	1197 ^b	1168 ^b	1153 ^b	81	***	***	quadratique
CMJ, kg	3,22 ^a	3,28 ^a	3,13 ^a	2,89 ^b	2,68 ^c	2,63 ^c	0,28	***	ns	quadratique
EN ingérée, MJ/j	26,0 ^a	28,5 ^{ab}	29,1 ^b	28,6 ^b	28,1 ^b	29,2 ^b	2,8	0,06	ns	quadratique
IC, kg/kg	3,06 ^a	2,87 ^{ab}	2,73 ^b	2,43 ^c	2,30 ^c	2,29 ^c	0,28	***	ns	linéaire
IC, MJ ED/kg	35,1	35,1	35,3	33,1	33,1	35,6	3,8	ns	ns	
IC, MJ EN/kg	24,8	25,0	25,4	24,1	24,2	25,5	2,8	ns	ns	
Carcasse⁵										
Poids chaud, kg	81,8 ^a	84,1 ^{ab}	84,1 ^{ab}	83,5 ^{ab}	85,9 ^{bc}	87,1 ^c	3,7	*	ns	linéaire
Rendement, %	76,6 ^a	77,1 ^{ab}	77,4 ^{ab}	77,9 ^b	78,3 ^b	78,4 ^b	1,4	*	*	linéaire
G2, mm	16,1	16,9	16,5	17,6	16,7	18,9	5,0	ns	ns	
M2, mm	55,7	56,2	55,3	54,7	57,3	56,3	5,0	ns	*	
TMP, %	58,4	57,9	58,1	57,2	58,3	56,5	2,4	ns	0,09	

1. Analyse de variance avec le lot et le bloc intra-répétition en effets principaux. Les valeurs présentées tiennent compte des différences d'effectifs entre lots. ETR : écart-type résiduel ; *** : $P < 0,001$; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,05$; quand $P < 0,10$, sa valeur est indiquée et considérée comme une tendance. Des lettres différentes sont attribuées aux différentes colonnes quand les moyennes ajustées sont significativement différentes au seuil de 5%.

2. La méthode des contrastes est utilisée pour déterminer si l'effet du lot est linéaire ou quadratique.

3. Moyennes ajustées avec le rendement de carcasse ($P < 0,001$) en covariable.

4. Moyennes ajustées avec le rendement de carcasse ($P < 0,01$) et l'épaisseur de gras dorsal (G2, $P < 0,05$) en covariables.

5. Un porc du lot D est mort pendant le transport et ses caractéristiques de carcasse ne sont donc pas connues.

En parallèle des écarts (non significatifs) de composition de carcasse, des différences (significatives) de rendement de carcasse sont également observées. Ces deux éléments rendent délicate l'interprétation des effets de la teneur en énergie de l'aliment sur les performances. D'un point de vue méthodologique, il semble plus pertinent d'analyser ces effets à partir de données ajustées pour un même TMP (ou G2) et pour un même rendement de carcasse. Il apparaît alors que, sur l'ensemble de la période étudiée, l'écart de GMQ et d'IC entre les aliments extrêmes s'accroît. Contrairement à l'ICED

qui diffère alors entre les lots, l'ICEN reste indépendant de la teneur en énergie de l'aliment.

Ces résultats indiquent une supériorité du système EN sur le système ED pour prédire les performances des porcs.

La préparation des régimes expérimentaux s'est appuyée sur une stratégie permettant d'éviter l'impact spécifique d'une matière première. Tout comme dans les études de Beaulieu *et al.* (2009) et de Fagundes *et al.* (2009), les teneurs en EN étudiées dans le présent essai correspondent à des mélanges de matières premières en proportions différentes

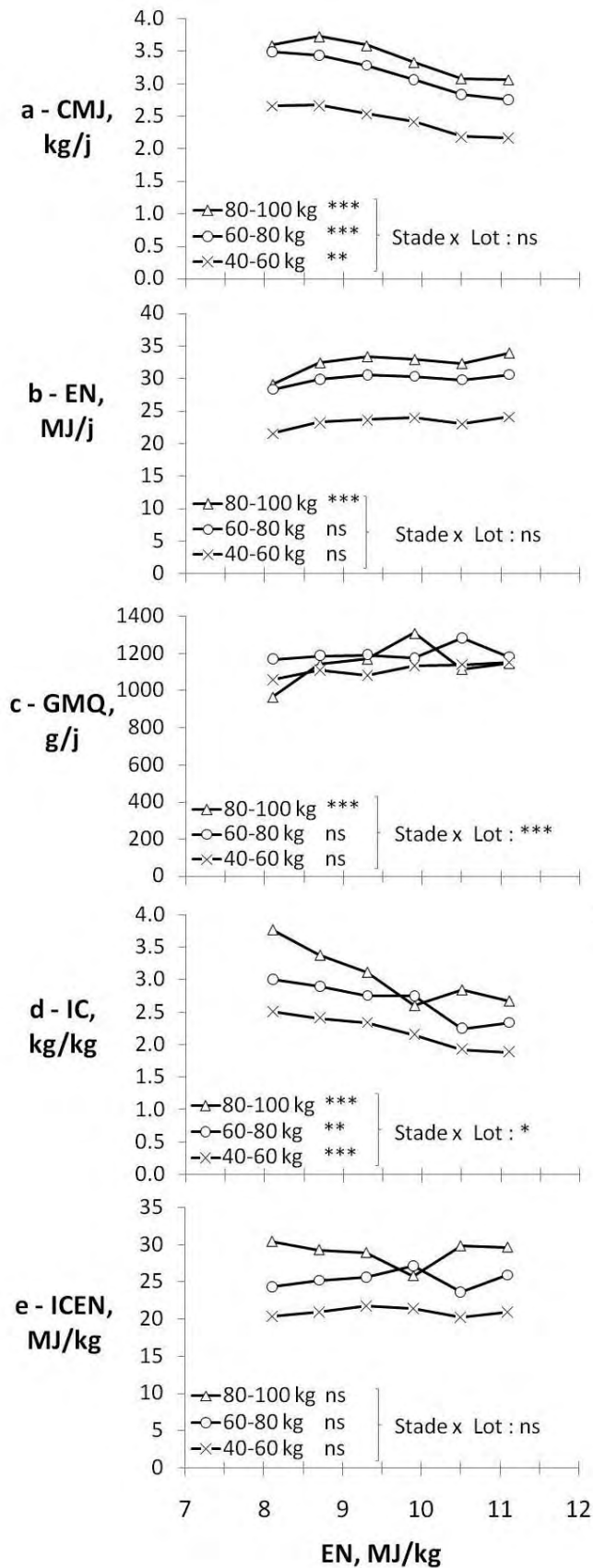


Figure 1 – Teneur en énergie nette (EN) de l'aliment et performances selon le stade de croissance (effet du lot intra-stade et interaction stade x lot).

Pour les deux figures : a : ingestion d'aliment, b : énergie nette ingérée, c : vitesse de croissance, d : indice de consommation, e : indice de consommation énergétique.

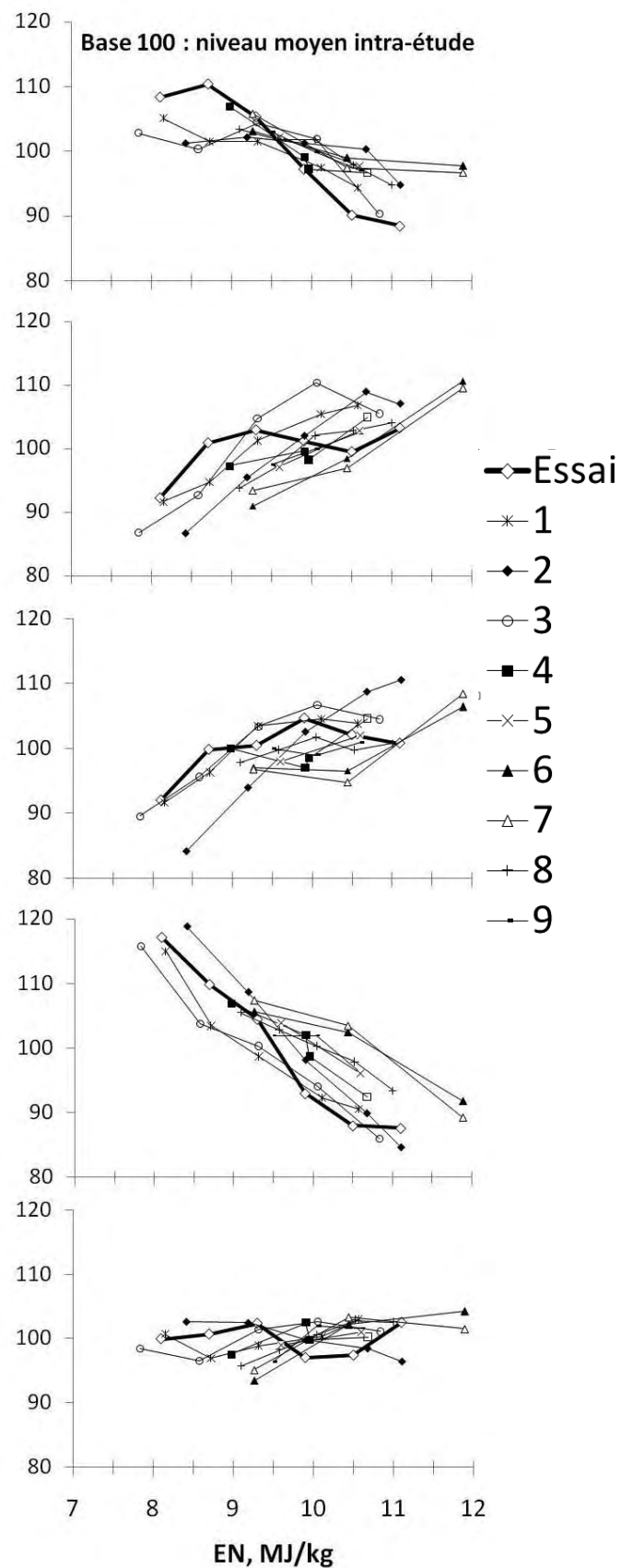


Figure 2 - Comparaison de l'effet relatif de la teneur en énergie nette (EN) de l'aliment obtenu dans notre essai et dans la littérature (1 et 2 : Campbell et Taverner (1986), 22-50 kg ; 3 : Stein et Easter (1996), 54-113 kg ; 4 : Levasseur et al. (1998), 35-105 kg ; 5 : Gaudré et Levasseur (2004), 29-111 kg ; 6 et 7 : Fagundes et al. (2009), 25-51 / 51-80 kg ; 8 et 9 : Beaulieu et al. (2009), 31-115 / 37-119 kg).

plutôt qu'à l'incorporation croissante d'une matière première spécifique telle que pratiquée par certains auteurs (fibres : Kyriazakis et Emmans, 1995 ; Stein et Easter, 1996 ; Levasseur *et al.*, 1998 / matières grasses : Campbell et Taverner, 1986 ; Levasseur *et al.*, 1998 / fibres + matières grasses : Gaudré et Levasseur, 2004). Toutefois, toutes ces études sont réalisées avec un ajustement du rapport acides aminés / énergie.

Les Figures 2a à 2e permettent de comparer les résultats obtenus en moyenne dans notre essai à ceux de la littérature. Afin d'atténuer les écarts de performance entre études, les résultats sont exprimés en valeur relative avec, en référence, la moyenne des valeurs obtenues par critère intra-étude. Les Figures 2a et 2d mettent en évidence que l'évolution de la CMJ et de l'IC avec la teneur en EN dans notre étude est cohérente avec les études antérieures, même si celles-ci étaient réalisées avec des aliments formulés sur la base de l'ED. Elles montrent également que l'amplitude de la variation de l'ingéré est plus marquée dans notre étude, ce qui explique probablement que les animaux parviennent à stabiliser leur ingestion d'énergie sur une gamme de valeurs beaucoup plus large qu'auparavant.

CONCLUSION – PERSPECTIVES

Nos résultats confirment la capacité des porcs à ajuster leur ingestion alimentaire sur la base de la teneur en énergie de l'aliment. A partir de régimes formulés sur la base de l'EN, ils indiquent que la plage de valeurs est très large et s'étend entre 8,7 et 10,5 MJ EN/kg. A l'inverse, en deçà de 8,7 MJ EN/kg, le porc en fin de croissance ne parvient plus à maintenir sa consommation d'énergie.

Contrairement à ce qui pouvait être attendu à partir des résultats plus anciens, cet effet s'observe chez les porcs lourds plutôt que chez les porcs légers. Chez les femelles, une gamme légèrement plus étroite est sans doute à envisager en raison de leur moindre ingestion comparativement aux castrats.

La formulation d'aliment très concentré permet d'atteindre une efficacité alimentaire très élevée, mais qui doit être relativisée au regard du surcoût engendré par un recours massif aux matières grasses. Si elle n'intervenait pas à un niveau si bas de concentration en EN, la formulation d'aliment tant dilué pourrait s'avérer intéressante dans une optique de rationnement énergétique en fin de croissance du porc alimenté à volonté. Cependant, une teneur en EN inférieure à 8,7 MJ suppose un recours massif aux sources de fibres, ce qui est susceptible d'entraîner une plus grande hétérogénéité des performances et de poser également des problèmes d'ordre environnemental (plus de rejets en relation avec une moindre digestibilité, volume d'aliment à transporter accru...). Néanmoins, cette stratégie de formulation sera sans doute à envisager dans la perspective d'une diminution de la compétition entre le porc et les volailles, voire les humains, pour l'accès aux matières premières, les coproduits étant alors des sources nutritionnelles à privilégier pour le porc.

La dilution énergétique a été réalisée dans notre essai avec des sources de fibres qui entraînent un encombrement limité du tube digestif (Kyriazakis et Emmans, 1995). L'utilisation de sources de fibres à capacité de rétention d'eau plus élevée permettrait peut être d'envisager une réduction de l'ingéré énergétique chez les porcs alimentés à volonté pour une teneur en EN supérieure à celle déterminée dans notre étude.

Enfin, nos résultats indiquent que la mise en place d'aliments ayant des teneurs en énergie très différentes de celle d'aliments conventionnels implique de privilégier le système EN pour estimer leur valeur énergétique.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée dans le cadre du programme national de développement agricole et rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Beaulieu A.D., Williams N.H., Patience J.F., 2009. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets. *J. Anim. Sci.*, 87, 965-976.
- Black J.L., Campbell R.G., Williams I.H., James K.J., Davies G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. *Research Dev. Agric.*, 3, 121-145.
- Campbell R.G., Taverner M.R., 1986. The effects of dietary fibre, source of fat and dietary energy concentration on the voluntary food intake and performance of growing pigs. *Anim. Prod.*, 43, 327-333.
- Cole D.J.A., Duckworth J.E., Holmes W., 1967. Factors affecting voluntary feed intake in pigs. 1. The effect of digestible energy content of the diet on the intake of castrated male pigs housed in holding pens and in metabolism crates. *Anim. Prod.*, 9, 141-148.
- Fagundes A.C.A., Gomes J.D.F., Souza L.W.O., Fukushima R.S., 2009. Influence of environmental temperature, energy level and sex on performance and carcass characteristics of pigs. *Braz. J. Vet. Research Anim. Sci.*, 46, 32-39.
- Gaudré D., Levasseur P., 2004. Intérêt des aliments à teneur élevée en énergie pour le porc charcutier. *TechniPorc*, 27(6), 33-39.
- Henry Y., 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: A review. *Livest. Prod. Sci.*, 12, 339-354.
- Henry Y., 1993. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *INRA Prod. Anim.*, 6, 199-212.
- Henry Y., Colléaux Y., Sève B., 1992. Effects of dietary level of lysine and of level and source of protein on feed intake, growth performance, and plasma amino acid pattern in the finishing pig. *J. Anim. Sci.*, 70, 188-198.
- Kyriazakis I., Emmans G.C., 1995. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk. *Br. J. Nutr.*, 73, 191-207.
- Levasseur P., Courboulay V., Meunier-Salaün M.-C., Dourmad J.-Y., Noblet J., 1998. Influence de la source d'énergie et de la concentration énergétique de l'aliment sur le comportement alimentaire, les performances zootechniques et la qualité de carcasse du porc charcutier. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 30, 245-252.
- Noblet J., Bontemps V., Tran G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. *INRA Prod. Anim.*, 16, 197-210.
- Nyachoti C.M., Zijlstra R.T., de Lange C.F.M., Patience J.F., 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Can. J. Anim. Sci.*, 84, 549-566.
- Quiniou N., Dubois S., Noblet J., 1995. Effect of dietary crude protein level on protein and energy balances in growing pigs: comparison of two measurement methods. *Livest. Prod. Sci.*, 41, 51-61.
- Quiniou N., Noblet J., 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 73, 1567-1575.
- Stein H.H., Easter R.A., 1996. Dietary energy concentration effects carcass leanness in finishing hogs. In: University of Illinois Swine Research Reports, 41-47. University of Illinois, Urbana Champaign.

