

Incidence de la granulométrie sur les performances en post-sevrage et la digestibilité de quatre aliments à base d'orge, de blé, de maïs et de pois

J. ALBAR (1), F. SKIBA (2), É. ROYER (1), R. GRANIER (3)

(1) I.T.P., Pôle Techniques d'Élevage - 34 boulevard de la Gare, 31500 Toulouse

(2) I.T.C.F., Service Qualités et Valorisations - Pouligne, 41100 Villérable

(3) I.T.P., Pôle Techniques d'Élevage - Station Expérimentale, 12200 Villefranche-de-Rouergue

Avec la collaboration du personnel des stations I.T.C.F. (2) et I.T.P. (3)

Incidence de la granulométrie sur les performances en post-sevrage et la digestibilité de quatre aliments à base d'orge, de blé, de maïs et de pois

L'incidence de la finesse de mouture des matières premières sur les performances des porcelets en post-sevrage a été étudiée dans cinq essais. Quatre granulométries, réparties de 0,43 à 0,90 mm, ont été comparées : très fine (TF), fine (F), moyenne (M) et grossière (G). Les aliments monocéréales concernés étaient formulés à base d'orge, de blé et de maïs. Le dernier essai a concerné un aliment renfermant 35 % de pois. Les aliments ont été distribués en farine, à volonté, au nourrisseur dans les essais zootechniques. Des mesures de digestibilité ont été réalisées sur les aliments présentant les granulométries extrêmes "très fine" et "grossière".

Aucune différence significative n'est constatée pour les consommations entre les quatre finesses de mouture. Pour les quatre essais céréales, les GMQ et les IC des 3 premiers traitements (TF, F et M) sont comparables. Par contre, on observe une baisse de GMQ pour la mouture G dans 3 essais sur 4. Seuls les IC entre traitements extrêmes sont différents et ceci seulement dans 2 essais sur 4 (orge 1 et maïs). Pour l'essai pois, l'incidence de la granulométrie sur GMQ et IC est significative.

La dégradation des performances avec les moutures "grossières" peut être expliquée dans tous les cas par une moindre digestibilité des nutriments (excepté pour l'orge où la différence est non significative en digestibilité).

Pour les céréales, des granulométries moyennes comprises entre 0,50 et 0,60 mm paraissent convenir, alors que pour le pois, une granulométrie plus fine est à rechercher.

Effects of the particle size of barley, wheat, corn or pea based diets on the growth performance of weaned piglets and on nutrient digestibility

The effects of dietary particle size on the growth performance of weaned piglets was studied in five trials. Four particle sizes, ranging from 430 to 900 microns, were compared : very fine (VF), fine (F), medium (M) and coarse (G). In the first four trials, the diets were based on one type of cereal: barley, wheat or corn. In the fifth trial, peas were introduced into the diet at 35 %. The piglets were fed meal ad libitum during the growth performance trial using a feeder. Nutrient digestibility was determined for the VF and G diets.

Daily feed intake was not statistically affected by particle size. In the experiments using the cereal based diets, average daily gain (ADG) and food conversion ratio (FCR) were not significantly affected by the treatments VF, F and M. However, coarse grinding (G) reduced ADG in 3 out of 4 trials. The only differences observed for FCR were between treatments VF and G, for 2 out of 4 trials (barley 1 and corn). In the experiment where the diet was based on peas, particle size significantly affected ADG and FCR. Lower nutrient digestibility could explain the decrease in growth performance observed with coarse grinding (except for barley because there was no statistical difference between treatments on digestibility data).

Mean diet particle size - between 500 and 600 microns - should be used for piglets receiving cereal based diets whereas, particle size should be smaller for pea based diets.

INTRODUCTION

Plusieurs travaux sur les porcelets en post-sevrage ont montré que la diminution de la granulométrie des aliments peut améliorer leur digestibilité (WONDRA et al., 1995, GIESEMAN et al., 1990, NÄSI, 1992, SIMONSSON, 1978, KIRCHGESSNER et al., 1985, GUILLOU et LANDEAU, 1999) et certaines performances zootechniques comme l'indice de consommation (GENDRON, 1997, CASTALDO, 1997, HEALY et al., 1994, OHH et al., 1983), l'effet sur le gain moyen quotidien étant plus ou moins net suivant les auteurs. Mais elle peut aussi favoriser certains troubles digestifs tels que les ulcères gastro-oesophagiens (REIMANN et al., 1968, SMITH et EDWARDS, 1994, KIRCHGESSNER et al., 1985, SIMONSSON, 1978, ALAVIUKHOLA et al., 1993, CASTAING et al., 1987) et la constipation. Enfin elle a une incidence sur la stabilité des mélanges, l'écoulement des farines, le dégagement des poussières et le débit du broyeur et, par conséquent, sur le coût du broyage. Malgré ces nombreux essais, pas ou peu de recommandations sont proposées au niveau international en matière d'objectifs de finesse de mouture pour les aliments porcs. L'effet matières premières, en particulier le type de céréale, est rarement pris en compte. La présente expérimentation, réalisée sur des porcelets en post-sevrage avec des aliments à base d'orge, de blé, de maïs ou de pois vise donc à étudier l'effet de la finesse de mouture par type de matière première et à dégager des recommandations.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cinq essais zootechniques ont été effectués à la Station ITP de Villefranche-de-Rouergue. Des mesures de digestibilité ont été réalisées sur ces mêmes aliments à la station ITCF de Vendôme. Ces essais ont permis de comparer quatre granulométries différentes "Très fine, Fine, Moyenne, Grossière". Ils concernent des aliments renfermant des taux très élevés d'orge, blé, maïs et pois. Les mesures de digestibilité n'ont porté que sur les moutures extrêmes (très fine et grossière).

1.1. Essais zootechniques

1.1.1. Schéma expérimental

Chaque essai comprend quatre traitements différents correspondant à quatre finesses de mouture. Chaque essai a été conduit selon un dispositif factoriel en blocs complets. Ce dispositif comporte 45 blocs de 8 animaux avec 50 % de mâles et 50 % de femelles, soit 360 animaux par essai et 90 par traitement. Pour les performances de consommation, chaque essai comporte 6 blocs de 4 cases de 14 à 16 porcelets selon les essais, soit 6 cases par traitement (3 cases de mâles castrés et 3 cases de femelles).

1.1.2. Animaux

Les porcelets sont issus de truies LWxLR et de verrats P76. Les poids moyens au sevrage, correspondant aux poids de

mise en lots, varient de 7,6 à 8,5 kg, selon les essais, et ceux de fin d'essai, de 24,7 à 27,3 kg.

1.1.3. Période expérimentale et mesures

Les performances de croissance et de consommation portent sur la durée totale du post-sevrage (35 jours, période de distribution de l'aliment 1er âge incluse). Les différentes finesses de mouture ne concernent que l'aliment 2^{ème} âge, distribué sur une durée effective de 20 à 25 jours.

1.1.4. Aliments 2^{ème} âge

Tous les aliments sont distribués en farine, à sec au nourrisseur, et à volonté.

1.1.5. Finesses de mouture

Nous avons d'abord étalonné le broyeur à marteaux utilisé (T40 Toy - 20 CV) sur les différentes matières premières en faisant varier les grilles utilisées (trous de 3, 4, 5, 6 et 8 mm de diamètre) et la vitesse de rotation des marteaux (1500, 2000, 2500 et 3000 tours/minute). Nous avons retenu les conditions permettant d'obtenir quatre granulométries moyennes bien réparties entre des extrêmes variant de 0,4 à 1 mm. Les matières premières ont été broyées selon les conditions précisées au tableau 2. Pour l'essai "pois", le blé et le tourteau de soja entrant dans l'aliment correspondant ont été broyés à la grille de 4 mm et 3000 tours par minute. Pour chaque aliment, la granulométrie moyenne (diamètre médian, dgW) est calculée selon les normes américaines ASAE S319 à partir des fractions de l'échantillon obtenues par tamisage (10 tamis).

1.2. Mesures de digestibilité

Les mesures de digestibilité sont effectuées sur des porcelets mâles castrés de génotype Naïma x P76. Le jour du sevrage (28 jours), ils sont placés en loges collectives pendant 6 jours et consomment à volonté un aliment 1er âge supplémenté en antibiotiques. Après une période de 5 jours d'adaptation aux cages, pendant lesquels les animaux reçoivent un aliment non supplémenté, les porcelets consomment l'aliment expérimental pendant 12 jours. Chaque aliment est distribué à 6 porcelets pesant environ 13,5 kg lors des collectes. Les fèces sont collectées intégralement pendant les 3 derniers jours et conservées à -18°C. Les animaux reçoivent l'aliment deux fois par jour sous forme de farine humidifiée à l'auge (1,5 volumes d'eau pour un volume de farine), à raison d'environ 3,5 % de leur poids vif. Les quantités de matière sèche ingérées et excrétées sont mesurées individuellement et quotidiennement. Les constituants chimiques de la ration (matière sèche, matières azotées totales et énergie) sont dosés dans les fèces après homogénéisation, échantillonnage et lyophilisation ainsi que dans les aliments. Leur digestibilité est calculée directement à partir des bilans. Les données sont traitées par analyse de variance suivant un dispositif en randomisation totale avec 6 répétitions par traitement.

Tableau 1 - Formules et composition analytique des aliments (valeurs de formulation)

Essai	Orge 1	Orge 2	Blé	Maïs	Pois
Orge	640	632	-	-	-
Blé	-	-	640	-	423
Maïs	-	-	-	625	-
Tourteau Soja	300	300	300	300	150
Pois	-	-	-	-	350
Lysine 50 %	2	3,75	5	5	3,4
Méthionine 20 %	3	4	5	5,5	9
Thréonine 10 %	10	15,4	10	17	17
Tryptophane 100 %	-	-	-	0,5	0,6
Aliment minéral	45	45	40	47	47
Énergie Nette, MJ / kg	8,71	8,67	9,38	9,69	9,41
MAT, g/kg	202	207	210	202	196
Lysine totale, g/kg	12,5	12,9	13,0	13,4	13,4
Lysine digestible, g/kg	11,0	11,4	11,9	12,3	11,9
Lysine dig., g / MJ EN	1,27	1,32	1,27	1,27	1,27
Méthionine d. / Lysine d., %	32	32	32	37	37
M+C d. / Lysine d., %	60	59	60	60	61
Thréonine d. / Lysine d., %	64	66	63	65	63
Tryptophane d. / Lysine d., %	22	19	20	19	20

Tableau 2 - Conditions de broyage et granulométries moyennes (diamètre médian)

	Très fine	Fine	Moyenne	Grossière
Conditions de broyage (1)				
Orge, blé	2,5 / 3000	4 / 3000	6 / 2500	8 / 2000
Maïs	2,5 / 3000	4 / 2000	6 / 2000	8 / 1500
Pois	4 / 3000	5 / 3000	6 / 2000	8 / 1500
Granulométrie moyenne des matières premières (2)				
Orge 2	0,65	0,71	0,97	1,21
Blé	0,57	0,56	0,77	1,04
Maïs	0,49	0,64	0,70	1,21
Pois	0,61	0,75	1,02	1,28
Granulomètre moyenne des aliments				
Orge 1	0,51	0,55	0,73	0,90
Orge 2	0,44	0,55	0,74	0,83
Blé	0,45	0,53	0,58	0,71
Maïs	0,43	0,66	0,68	0,84
Pois	0,51	0,58	0,63	0,70

(1) Les deux valeurs indiquées correspondent au diamètre (mm) des trous de la grille et à la vitesse (tours/minute) de rotation des marteaux

(2) Diamètre médian en mm (calculé d'après la norme ASAE S319)

2. RÉSULTATS

2.1. Granulométries des aliments

Les dénominations "TRÈS FINE, FINE, MOYENNE, GROSSIÈRE" correspondent à des objectifs de granulométries moyennes respectives de 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1,0 mm. En pratique, ils n'ont pu être très exactement respectés, mais les valeurs obtenues permettent cependant de différencier de façon correcte les quatre traitements (tableau 2). Les granulométries moyennes des aliments sont, selon le type de mouture (moyennes et extrêmes) en considérant les cinq essais :

- **très fines :** **0,47** (0,43 à 0,51)
- **fines :** **0,57** (0,53 à 0,66)
- **moyennes :** **0,67** (0,58 à 0,74)
- **grossières :** **0,80** (0,70 à 0,90)

La granulométrie des aliments est inférieure à celle de la matière première de base de la formule (céréale ou pois) - tableau 2 -. Le décalage variable est le plus souvent compris entre 0,1 et 0,2 mm. Il tend à s'accroître avec les moutures plus grossières. Ainsi la mouture très fine du blé donne une granulométrie de 0,57 mm, alors que celle de l'aliment correspondant est de 0,45 mm.

2.2. Performances zootechniques

2.2.1. Consommations journalières (tableau 3 et figure 1)

Les consommations moyennes d'aliment 1er âge par porcelet sont variables : 4 à 5 kg pour les lourds au sevrage, 6 à 7 kg pour les moyens et 7,5 à 9 kg pour les légers. Les consommations moyennes d'aliment 2ème âge par porcelet ont été de 19 à 22 kg selon les essais.

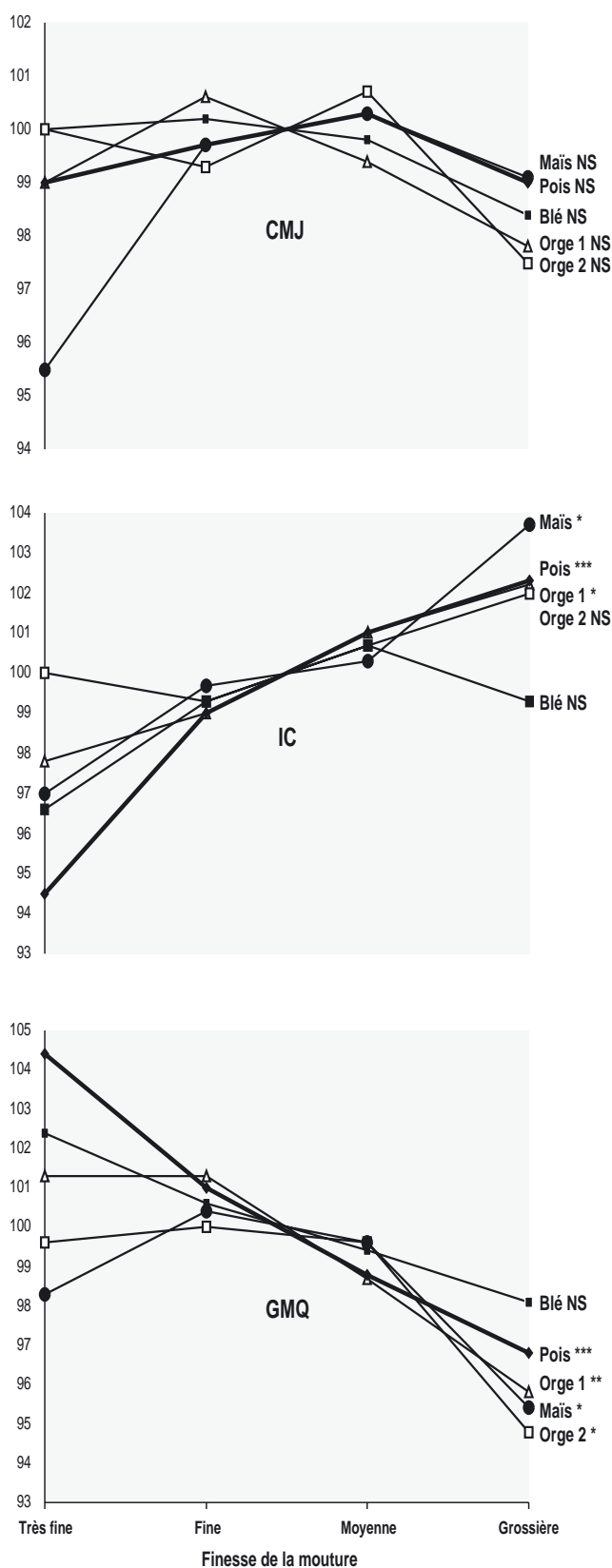
Aucune différence significative n'apparaît entre traitements et ceci pour les cinq essais. La mise en graphique de ces données (figure 1) a été réalisée en prenant comme base 100 la moyenne des consommations des 2 traitements intermédiaires "fine" et "moyenne". Mis à part le maïs pour la mouture "très fine" (-4,5 %), il apparaît clairement que les consommations sont comparables pour les moutures "très fine" à "moyenne". Par contre, les moutures "grossières" entraînent une légère tendance, non significative, à la baisse des consommations dans les cinq essais. Elle reste toutefois très faible et limitée à -3 %.

2.2.2. Croissances (tableau 4 et figure 1)

Pour les quatre premiers essais, concernant les céréales, on ne constate aucune différence significative pour les croissances entre les trois premiers traitements (TF, F, M). Dans le cas de l'essai blé, cela concerne même les quatre traitements. Dans les essais orges et maïs, la mouture "grossière" engendre une baisse significative des GMQ. Dans l'essai pois, la diminution progressive des croissances avec l'augmentation de la taille des particules est très hautement significative.

La figure 1 illustre parfaitement ces tendances. Excepté le pois, on constate pour les trois premiers traitements que les écarts restent limités à + ou - 2 % par rapport à la base 100.

Figure 1 - Incidence de la finesse de mouture sur les performances zootechniques (1)
(base 100 = moyenne « Fine + Moyenne »)



(1) Degré de signification :

NS non significatif ($P > 0,05$)

* Significatif ($P < 0,05$)

** Hautement significatif ($P < 0,01$)

*** Très hautement significatif ($P < 0,001$)

Tableau 3 - Consommations journalières (CMJ, g/jour)

CMJ	Très fine	Fine	Moyenne	Grossière	Proba (1)	Signification	C.V.R. (2)
Orge 1	749	761	752	740	0,674	NS	3,9
Orge 2	748	742	753	729	0,232	NS	2,7
Blé	812	814	810	799	0,659	NS	2,7
Maïs	776	810	815	805	0,134	NS	3,7
Pois	776	781	786	776	0,809	NS	2,6

(1) Probabilité sous H_0 = hypothèse d'égalité des moyennes des traitements ; Rejet de H_0 pour $P < 0,05$ (risque $\alpha = 5\%$).

Degré de signification : S^* ($P < 0,05$) ; HS^{**} ($P < 0,01$) ; THS^{***} ($P < 0,001$) ; NS ($P > 0,05$)

(2) Coefficient de variation résiduel (%)

Tableau 4 - Croissances (GMQ, g/jour)

GMQ	Très fine	Fine	Moyenne	Grossière	Proba (1)	Signification	C.V.R. (2)
Orge 1	490 a	490 a	477 ab	463 b	0,013	*S	13,1
Orge 2	498 a	501 a	498 a	474 b	0,005	**HS	11,7
Blé	576	566	559	552	0,110	NS	11,3
Maïs	534 ab	545 a	541 a	518 b	0,018	*S	11,5
Pois	527 a	510 b	499 bc	489 c	0,0001	***THS	10,7

(1) et (2) Voir notes sous tableau 3

Les moyennes accompagnées de lettres différentes diffèrent significativement.

a, b, c : groupes homogènes par le test de Newman et Keuls

Tableau 5 - Indices de consommation (IC, kg/kg)

IC	Très fine	Fine	Moyenne	Grossière	Proba (1)	Signification	C.V.R. (2)
Orge 1	1,53 a	1,55 ab	1,58 ab	1,60 b	0,029	*S	2,4
Orge 2	1,50	1,49	1,51	1,53	0,088	NS	2,1
Blé	1,44	1,48	1,50	1,48	0,391	NS	4,0
Maïs	1,46 a	1,50 ab	1,51 ab	1,56 b	0,018	*S	3,3
Pois	1,47 a	1,54 b	1,57 c	1,59 c	0,0000	***THS	1,9

(1) et (2) Voir notes sous tableau 3

Les moyennes accompagnées de lettres différentes diffèrent significativement

a, b, c : groupes homogènes par le test de Newman et Keuls

Pour la mouture "grossière", la tendance à la dégradation des croissances est assez nette pour les essais orges, maïs et pois.

2.2.3. Indices de consommation (tableau 5 et figure 1)

Pour les essais "céréales", aucune différence significative n'apparaît entre les trois premiers traitements. Cela concerne même les quatre traitements pour l'orge 2 et le blé. Par contre, pour le pois, les trois premiers traitements sont significativement différents entre eux. Dans le cas de l'essai orge 1 et maïs, la granulométrie "grossière" induit des IC significativement supérieurs à ceux obtenus avec la granulométrie "très fine", les deux autres granulométries obtiennent des valeurs intermédiaires.

Globalement, en tendance, les meilleurs indices sont obtenus avec les moutures les plus fines et les plus mauvais avec les moutures les plus grossières. Les écarts entre moutures

extrêmes restent limités pour blé et orge (moins de 5 %), plus élevés pour le maïs (6,7 %) et pour le pois (7,8 %).

2.3. Résultats de digestibilité

Le tableau 6 montre que, quel que soit l'aliment étudié, la granulométrie n'a pas d'effet significatif sur le coefficient d'utilisation digestive (CUD) des matières azotées totales. Toutefois, on observe une tendance à la diminution de ce CUD avec l'augmentation de la granulométrie (-0,9 ; -1,1 ; -2,3 et -2,2 points de digestibilité respectivement pour les aliments à base d'orge, de blé, de maïs et de pois).

Aucun effet significatif de la granulométrie n'est constaté sur les CUD des différents constituants chimiques de l'orge. Sur le blé, de même que sur le maïs, on observe que le passage d'une granulométrie "très fine" à "grossière" entraîne une diminution significative des CUD de la matière sèche et de l'énergie, ainsi qu'une baisse significative de l'énergie digestible (ED).

Tableau 6 - Coefficients d'utilisation digestive (CUD en %) et Énergie Digestible (kcal/kg MS) des aliments

	Mouture " très fine "	Mouture " grossière "	Proba (1)	ETR (2)
Orge 2				
CUD Matière sèche	84,1	83,3	NS	2,4
CUD Matières azotées totales	87,3	86,4	NS	2,7
CUD Énergie	83,3	82,0	NS	2,6
ED	3559	3512	NS	109
Blé				
CUD Matière sèche	90,1 a	87,2 b	**	1,2
CUD Matières azotées totales	91,0	89,9	NS	1,8
CUD Énergie	89,9 a	86,7 b	**	1,5
ED	3851 a	3751 b	*	55
Maïs				
CUD Matière sèche	88,0 a	86,3 b	*	1,0
CUD Matières azotées totales	87,0	84,7	NS	2,0
CUD Énergie	87,7 a	85,2 b	*	1,3
ED	3802 a	3673 b	**	56
Pois				
CUD Matière sèche	89,4	87,4	NS	1,7
CUD Matières azotées totales	86,4	84,2	NS	3,1
CUD Énergie	88,8	86,5	NS	1,9
ED	3783 a	3622 b	**	81

(1) NS : $P > 0,10$; * : $0,01 < P < 0,05$; ** : $0,001 < P < 0,01$; *** : $P < 0,001$

(2) ETR : écart type résiduel pour l'analyse de variance

a, b : groupes homogènes par le test de Newman et Keuls

Pour le pois, l'effet granulométrie n'est significatif que sur l'ED (-161 kcal/kg MS quand on augmente la granulométrie). Les écarts entre les deux granulométries sur les différents CUD sont du même ordre que ceux mesurés pour le blé ou le maïs. Toutefois, une plus grande variabilité inter animal, déjà constatée dans d'autres essais, ne nous a pas permis de mettre en évidence des différences significatives sur les critères CUD matière sèche et énergie.

3. DISCUSSION

3.1. Granulométries des aliments

Les écarts de granulométrie entre types de mouture ne sont pas aussi marqués que nous l'aurions souhaité, mais la progression entre les quatre traitements d'un même essai est respectée (Tableau 2). Ces finesses de mouture correspondent aux variations constatées chez les éleveurs fabricants à la ferme. Deux enquêtes réalisées l'une par l'ITP (GENDRON, 1997) et l'autre par Alliance Porcs Sud (GENIEZ, 1998) donnent des moyennes et des écarts-types respectivement de $0,65 \text{ mm} \pm 0,09$ et $0,59 \text{ mm} \pm 0,06$ pour les aliments porcelets, et de $0,67 \text{ mm} \pm 0,12$ et $0,66 \text{ mm} \pm 0,17$ pour les aliments d'engraissement. Ces références, concernant des moutures réalisées avec des broyeurs à marteaux, ne peu-

vent être extrapolées aux broyeurs à rouleaux. Les rares recommandations rencontrées dans la bibliographie sont le plus souvent relatives à l'aliment fini et non à la matière première (céréale) de base de l'aliment.

3.2. Consommations

Dans le contexte des matières premières et des formules étudiées d'une part, et d'une présentation farine à sec à volonté au nourrisseur d'autre part, la granulométrie des aliments ne peut être retenue comme facteur significatif de variation des consommations journalières. Seules des granulométries extrêmes, en particulier "grossières", pourraient être concernées.

Les résultats de cette expérimentation sont cohérents avec ceux de la bibliographie. Pour le maïs, l'incidence éventuellement défavorable d'une mouture très fine nécessiterait d'être réexaminée. En effet, HEALY et al. (1994), sur porcelets avec présentation en granulés, et MAHAN et al. (1966), sur porcs charcutiers avec farine, n'ont pas constaté de baisse des consommations avec des moutures très fines pour des aliments à base de maïs. Par contre WONDRA et al. (1995) et GOODBAND et al. (1995) l'ont constatée sur porcs en finition ; ils notent même une diminution globale des performances pour une mouture de 300 μm .

3.3. Croissances

Concernant les céréales, l'effet défavorable et le plus souvent significatif de la mouture "grossière" (+ de 0,70 mm) sur la croissance peut être en partie expliqué par la moins bonne digestibilité de l'aliment. En dessous d'une granulométrie moyenne des aliments de 0,70 mm, la mise en oeuvre de moutures plus fines n'améliore pas significativement les performances de croissance.

Par contre pour le pois, compte tenu de l'effet très hautement significatif de la finesse de mouture sur la croissance, un objectif de granulométrie moyenne égal ou inférieur à 0,50 mm est à recommander. Les essais de microbroyage du pois, réalisés par HESS et al. (1996) et l'étude de GROSJEAN et al. (1992) sur la finesse de broyage des coques de pois, conduisent aux mêmes conclusions. La difficulté de broyage du pois (débit et usure des équipements...) n'est pas un facteur favorable pour faciliter la réalisation de cet objectif.

On peut signaler que nos résultats ne sont pas en accord avec ceux de GENDRON (1997) et de GUILLOU et LANDEAU (1999) qui, dans leurs revues bibliographiques, ne mettent en évidence aucun effet de la finesse de mouture sur les croissances.

3.4. Indices de consommation

Bien que l'on ne constate, pour les céréales, des écarts significatifs entre traitements extrêmes ("très fine" et "grossière") que dans deux essais sur quatre (orge 1 et maïs), une tendance progressive à la dégradation de l'IC apparaît dans la figure 1 avec l'augmentation de la granulométrie moyenne. Cette tendance devient très hautement significative pour le pois.

Ces résultats sont confirmés par GUILLOU et LANDEAU (1999) et par GENDRON (1997) qui souligne l'effet favorable des moutures fines sur l'amélioration de l'IC. Les analyses granulométriques montrent une plus forte dispersion de la taille des particules avec les moutures les plus grossières. Par ailleurs de nombreux auteurs ont souligné l'effet défavorable des moutures grossières sur la stabilité des mélanges (MELCION, 1989 ; SALIMEI et al., 1995). Ainsi un mauvais mélange peut entraîner une dégradation sensible de l'IC (TRAYLOR et al., 1994 ; MELCION, 1996).

L'hypothèse concernant l'intérêt plus marqué de moutures plus fines avec l'orge (ALLEE, 1986 ; CHAMP, 1981 ; SIMONSSON 1978), plus riche en fibres que le maïs et le blé, n'est pas confirmée dans ces essais, au même titre que dans un essai réalisé par l'ITCF (1985, données non publiées) sur porcs charcutiers.

3.5. Digestibilité

L'absence d'effet net de la granulométrie sur la digestibilité de l'azote dans cet essai (bien qu'observé en tendance) peut s'expliquer par le fait que nous avons effectué des mesures de digestibilité au niveau fécal. Or, il est bien connu que les mesures pratiquées à ce niveau sont moins discriminantes que celles pratiquées au niveau iléal dans le cas de l'azote.

La plupart des auteurs qui ont observé un effet favorable de la diminution de la taille des particules sur la digestibilité de l'azote (WÜNSCHE et al., 1987, HESS et al., 1998) ont travaillé sur des mesures de digestibilité iléales et parfois avec des matières premières microbroyées (HESS et al., 1998). CREVIEU-GABRIEL (1999) signale ainsi que, dans le cas des graines de légumineuses, aucune étude utilisant des broyages industriels ne met en évidence une amélioration significative de la digestibilité des protéines chez le porc.

Les résultats observés sur les CUD de la matière sèche ou de l'énergie ou sur l'ED montrent que l'augmentation de la granulométrie détériore l'utilisation digestive de l'aliment, même si dans le cas de l'orge ces différences ne sont pas significatives. Ces résultats sont en accord avec la synthèse bibliographique réalisée par GUILLOU et LANDEAU (1999). Ces auteurs montrent une diminution de 0,6 point du CUD de l'énergie quand le diamètre médian du régime augmente de 100 µm. En outre, les résultats des mesures de digestibilité sont en accord avec ceux observés au niveau zootechnique dans cet essai (GMQ et IC). GOODBAND et al. (1995), sur des régimes à base de maïs ou de sorgho, ont également observé une diminution de l'IC, associée à une augmentation des CUD de la matière sèche et de l'énergie, quand le diamètre médian des particules diminue. Une meilleure attaque des particules de l'aliment par les enzymes digestives pourrait expliquer cette amélioration de l'IC. Toutefois, dans le cas de l'orge, l'absence d'effet significatif de la taille des particules sur la digestibilité pourrait être dû au fait que les fibres restent le facteur limitant de la valeur alimentaire de cette matière première. Le broyage, tel que pratiqué dans cet essai, n'aurait que peu d'action sur les fibres.

CONCLUSION

Ces résultats montrent, dans le cas de régimes à base de céréales, l'incidence le plus souvent limitée de la finesse de mouture sur les performances des porcelets, pour des granulométries moyennes inférieures à 0,70 mm. L'effet est par contre beaucoup plus marqué dans le cas du pois.

Il apparaît souhaitable d'éviter les moutures "grossières", entraînant des granulométries moyennes supérieures à 0,70 mm, du moins pour les porcelets, compte tenu des baisses des performances (GMQ et IC) observées, en relation avec une moindre digestibilité de l'énergie. Dans le cas du pois, ce seuil devrait même être ramené à 0,60 mm, voire 0,50 mm. De plus, les risques d'une moindre stabilité du mélange sont également à prendre en compte dans le cas de granulométries élevées.

Il n'apparaît toutefois pas nécessaire pour les régimes à base de céréales de rechercher des moutures "très fines" ($D_{gw} < 500 \mu m$), compte tenu des performances observées. De plus, il faut considérer les risques plus importants de poussière en distribution sèche en farine, d'écoulement plus difficile des farines, de baisse du débit du broyeur ainsi que la hausse du coût énergétique du broyage, de la fréquence plus élevée d'ulcères en engraissement. Par contre, une mouture très fine s'avère nécessaire pour une meilleure valorisa-

tion des régimes à base de pois. Un compromis doit cependant être trouvé, car le pois est une matière première qui pose plus de difficultés au broyage.

En conclusion, pour les porcelets, des finesses de mouture intermédiaires, correspondant à une granulométrie moyenne des

aliments comprise entre 0,50 et 0,60 mm, paraissent convenir. Ces recommandations correspondent à une distribution en farine et à une mouture obtenue avec des broyeurs à marteaux. Elles nécessitent pour le choix des grilles et, éventuellement, des vitesses de rotation des marteaux, un étalonnage de chaque type de broyeur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALAVIUHKOLA T., HAUTALA M., SUOMI K., VUORENMAA J., 1993. *Agric. Sci. Finl.*, 2, 481-486.
- ALLEE G.L., 1986. Cité par PATIENCE J.F. et THACKER P.A. in "Swine Nutrition Guide, 1989, p. 213.
- CASTAING J., COUDURE R., FÉKÉTÉ J., 1987. *Journées Rech. Porcine en France*, 20, 388-391.
- CASTALDO D.J., 1997. *Feed International*, 20-21.
- CHAMP M., DELORT-LAVAL J., 1981. *Journées Rech. Porcine en France*, 16, 145-150.
- CREVIEU-GABRIEL I., 1999. *INRA Prod. Anim.*, 12(2), 147-161.
- GENDRON S., 1997. *Granulométrie et performances zootechniques en production porcine. Synthèse bibliographique*, ITP, non publié.
- GENIEZ G., 1998. *Approche qualitative d'un aliment. APS*, non publié.
- GIESEMANN M.A., LEWIS A.J., HANCOCK J.D., PEO E.R., 1990. *J. Anim. Sci.*, 68, 104.
- GOODBAND R.D., TOKACH M.D., NELSEN J.L., 1995. The effects of diet particle size on animal performance. Kansas State University
- GROSJEAN F., BOURDON D., ISAMBERT Ph., PEYRONNET C., JONDREVILLE C., 1992. *Journées Rech. Porcine en France*, 24, 173-178.
- GUILLOU D., LANDEAU E., 1999. Séminaire *Granulométrie et Nutrition animale. CAAA-INAPG*, 1er juin 1999.
- HEALY B.J., HANCOCK J.D., KENNEDY G.A. et al., 1994. *J. Anim. Sci.*, 72, 2227-2236.
- HESS V., THIBAUT J.N., DUC G. et al., 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 223-229.
- KIRCHGESSNER V.M., ROTH F.X., BOLLWAHN W., HEINRITZI K., 1985. *Zbl. Vet. Med. A*, 32, 641-651.
- MAHAN D.C., PICKETT R.A., PERRY T.W. et al., 1966. *J. Anim. Sci.*, 2722, 1019-1023.
- MELCION J.P., 1989. *Rev. Alim. Animale*, Déc. 1989, 27-29.
- MELCION J.P., 1996. *Maîtrise des techniques de fabrication et performances des animaux. Symposium TECALIMAN*, Nantes, 28-50.
- NÄSI M., 1992. *Agric. Sci. Finl.*, 1, 461-469.
- OHH S.J., ALLEE G.L., BEHNKE K.C., DEYOE C.W., 1983. *J. Anim. Sci.*, 57(suppl. 1)-260 Abstr.
- REIMANN E.M., MAXWELL C.V., KOWALCZYK T. et al, 1968. *J. Anim. Sci.*, 27, 992-999.
- SALIMEI E., SVOINI G., FANTUZ F., POLIDORI F., 1995. *Atti XI° Congresso Nazionale ASPA*, Grado, Italie, 19-22. Giugno 1995, 277-278.
- SIMONSSON A., 1978. *Swedish J. Agric. Res.*, 8, 75-84.
- SMITH W.J., EDWARDS S.A., 1994. *The Pig Journal, Proceedings Section*, 194-199.
- TRAYLOR S.L., HANCOCK J.D., BEHNKE K.C., STARK C.R., HINES R.H., 1994. *K.S.U. Swine Day Report*, 171.
- WONDRA K.J., HANCOCK J.D., BEHNKE K.C., STARK C.R., 1995. *J. Anim. Sci.*, 73, 2564-2573 et 757-763.
- WÜNSCHE J., HERRMANN U., MEIL M., HENNIG U., 1987. *Arch. Anim. Nutr.*, 37, 745-764.