

INRA Prod. Anim.,
2000, 13 (2), 137-145

D. GUILLOU, E. LANDEAU*

UCAAB Service Recherche et
Développement, Chierry, BP 19,
02402 Château Thierry Cedex

* UCAAB Service Porc, 1 rue de la
Marébaudière, Montgermont, BP 96669,
35766 Saint-Grégoire Cedex

e-mail : dguillou@ucaab.com

Granulométrie et nutrition porcine

Les aliments pour porcs sont caractérisés d'une part par leur composition centésimale en matières premières, leur composition chimique, des valeurs nutritionnelles, et d'autre part par leur présentation : farine, granulé, miettes... Or, la fabrication d'un aliment fait intervenir des opérations (dosage, broyage, mélange, pressage, ...) dont les paramètres et les résultats sont variables. Généralement optimisées pour le moindre coût du traitement complet, les opérations élémentaires peuvent modifier les propriétés nutritionnelles des aliments. Les conséquences du broyage, c'est-à-dire de la granulométrie de l'aliment, sont développées dans cet article.

Le broyage des aliments pour porcs est une opération implicite pour les nutritionnistes et aucun ouvrage de référence récent sur la nutrition et l'alimentation des porcs n'en fait état (ARC 1981, INRA 1984, CSIRO 1987, NRC 1998).

Résumé

La description de la granulométrie des aliments ne fait pas l'objet de recommandation en nutrition porcine. Pourtant, de nombreux travaux sur le broyage des graines ont démontré le rôle de la granulométrie comme facteur de variation de la valeur alimentaire ou comme facteur étiologique de troubles digestifs chez le porc. Une base de données quantitatives a été élaborée à partir de 23 études expérimentales pour tenter d'établir des lois de réponse de la valeur alimentaire à la variation de la taille des particules. Chez les animaux en croissance (porcelets sevrés et porcs charcutiers) la digestibilité fécale de l'énergie est réduite de 0,6 point et la digestibilité fécale de l'azote de 0,8 point lorsque le diamètre médian des particules augmente de 100 µm. Parmi les critères zootechniques, seul l'indice de consommation des porcelets sevrés a pu être mis en relation avec le diamètre médian : il augmente de 0,03 point lorsque le diamètre médian augmente de 100 µm. Ces amplitudes sont faibles en comparaison des autres sources d'hétérogénéité de l'utilisation digestive et métabolique des aliments.

L'étude de l'influence de la granulométrie est rendue difficile par l'existence d'effets indirects sur la nutrition, tels que la stabilité des mélanges, ou par ses interactions avec les opérations élémentaires de la fabrication d'aliments autres que le broyage (par exemple la granulation). Le choix d'une taille de particules optimale est de plus soumis à des facteurs non nutritionnels tels les propriétés d'écoulement des pulvérulents. Les contraintes techniques pèsent aujourd'hui plus lourd que les avantages nutritionnels dans le choix d'une qualité de mouture.

De même, les principales bases de données de digestibilité des nutriments ou de valeur alimentaire des aliments pour les porcins (phosphore : Jongbloed 1988, énergie nette : Noblet *et al* 1989, acides aminés : RPAN 1993, Jondreville *et al* 1995, table généraliste : CVB 1997) ne précisent pas la granulométrie des régimes expérimentaux. La méthode de broyage a toutefois été précisée par Jondreville *et al* (1995), mais ces informations sont insuffisantes pour être intégrées dans un raisonnement mécaniste. Implicitement, la conduite du broyage et l'influence sur la mouture sont considérées comme régulières et normatives, et les conséquences éventuelles sur la valeur alimentaire sont occultées.

Cependant, les recommandations de broyage existent dans les guides destinés aux industriels et aux éleveurs fabriquant leurs aliments, au Danemark (Danske Slagterier 1994 et 1995) et aux USA (ISU Extension 1996, NPPC 1996). Ces guides techniques mentionnent la taille moyenne des particules et l'homogénéité des moutures recommandées par catégorie d'animal et par stade physiologique. Ils se réfèrent à des données empiriques d'efficacité alimentaire, de troubles digestifs et d'adaptation des aliments à la manutention et à la mécanisation des équipements d'élevage.

On peut trouver paradoxale cette situation où les organismes vulgarisateurs publient des recommandations sur des aspects de la valeur alimentaire que taisent les ouvrages de référence. D'autant que de nombreuses publications démontrant l'influence de la granulométrie sur la valeur alimentaire sont disponibles. L'analyse des résultats qui y sont présentés peut apporter quelques éléments de réponse aux questions des fabricants d'aliments.

1 / Granulométrie, ingestion et digestion

1.1 / Préhension, mastication, déglutition des aliments

Les moutures hétérogènes permettent le tri d'un aliment en farine par le porc (ISU Extension 1996). Un essai (CRZA 42-98-04, non publié) réalisé sur des porcs en croissance - finition, logés en cases collectives et nourris avec des aliments présentés en farine sèche (tableau 1) a montré que les porcs expulsaient les particules les plus grossières hors de l'auge.

Ce comportement de tri était exacerbé pendant la phase de finition, mais on ne sait pas si les porcs trient d'autant plus qu'ils sont âgés (ou expérimentés) ou s'ils trient d'autant mieux que la mouture est grossière. En effet, avec les mêmes matières premières, mais à des taux d'incorporation variables et avec la même conduite du broyeur, les distributions des tailles des particules étaient très différentes pour les deux aliments (écart de diamètre médian : 97 μm ; tableau 1).

L'influence de la taille des particules sur les phénomènes de mastication ou de déglutition n'est pas décrite dans la littérature.

1.2 / Transit digestif

Seules des informations qualitatives sont actuellement disponibles. Ainsi, Bastianelli *et al* (1996) n'intègrent pas la taille des particules dans leur modèle mécaniste de la diges-

tion et de l'absorption chez le porc. Ces auteurs mentionnent toutefois dans leur revue le rôle de la granulométrie dans les facteurs de variation du transit, tant gastrique que dans les différents segments intestinaux.

Des phénomènes de sédimentation différentielle des particules solides dans l'estomac ont été décrits. De même, la ségrégation entre les particules grossières et fines, et la réduction des particules grossières (comminution) ont été modélisées chez l'Homme (Bernier *et al* 1988). Maxwell *et al* (1970) ont observé une plus grande fluidité du contenu de l'estomac de porcs lorsque le broyage de l'aliment était plus fin. Les conséquences sont difficiles à synthétiser dans la mesure où une vidange stomacale freinée ou accélérée peut résulter des différentes hypothèses étudiées. Dans sa compilation bibliographique, Bastianelli (1996) ne mentionne pas de référence sur la variation des temps de rétention totaux ou dans les compartiments intestinaux en relation avec la granulométrie. De fait, les études de transit chez le porc sont rares.

2 / Granulométrie et troubles digestifs

2.1 / Lésions gastro-oesophagiennes

La taille des particules joue un rôle incontestable dans l'apparition d'ulcères gastro-oesophagiens, mais on ignore encore le ou les mécanismes impliqués. Les études sont rendues difficiles par le fait que les lésions gastro-oesophagiennes sont généralement diagnostiquées *post-mortem*, soit lors d'autopsies de porcs décédés, soit par l'examen des estomacs à l'abattoir. Une autre difficulté vient de la nature multifactorielle de l'étiologie de ces lésions : forme physique et composition chimique de l'aliment, niveau alimentaire, stress, peuvent en effet interférer (Eisemann et Argenzio 1999).

L'influence d'un broyage fin sur l'augmentation de l'incidence et de la sévérité des ulcères gastriques a été maintes fois rapportée (Mahan *et al* 1966 cité par Allee 1983, Maxwell *et al* 1970, ITCF 1975, Hedde *et al* 1985 cité par Eisemann et Argenzio 1999, Wondra *et al* 1995a, Dirkzwager *et al* 1998). Le recours à des broyeurs à cylindres pour le broyage des céréales de la ration réduit l'incidence des ulcères en comparaison au broyeur à marteaux, même lorsque les granulométries obtenues sont comparables (Danske Slagterier 1994 et 1995, Wondra *et al* 1993).

Dirkzwager *et al* (1998) démontrent que l'effet lié à la finesse de la mouture peut être compensé par l'addition d'une source de fibres inertes (coques de tournesol broyées grossièrement). Cette étude confirme les recommandations de Wolter (1982) : « la meilleure prévention alimentaire consiste à introduire dans l'aliment environ 3 à 4 % de cellulose peu digestible, en veillant à garder une granulométrie grossière ».

Tableau 1. Description des conditions de broyage et impact sur la granulométrie des aliments dans l'essai CRZA 42-98-04 (UCAAB, non publié). Broyeur à marteaux 36 kW, double vitesse moteur, 24 marteaux sur 3 axes.

Aliments	Croissance	Finition
Grille :		
- diamètre des trous (mm)	10	10
- vide (%)	65	65
- épaisseur (mm)	4	4
Vitesse d'impact (m/s)	55	55
Mouture :		
- diamètre médian des particules (μm)	840	937
- écart type géométrique	2,4	2,4

En observant l'état initial de la muqueuse gastrique par endoscopie, Ayles *et al* (1999) ne détectent pas d'augmentation de l'incidence des ulcères à l'abattage lorsqu'ils comparent des moutures de diamètre médian 763 et 953 μm . Ces auteurs suggèrent que les relations observées sans connaissance de l'état initial ont un caractère fortuit à ne pas négliger.

2.2 / Prévalence des salmonelles

Le broyage grossier de la céréale de base de l'aliment du porc réduit la prévalence des salmonelles dans le tube digestif (Kjeldsen et Dahl 1999). Cet avantage existe au détriment de la digestibilité de cette céréale (on retrouve 5 % d'amidon dans les fèces) et du coût de production. Cette information peut être mise en relation avec des changements de consistance des contenus stomacaux, et une augmentation de la flore lactique et de la production d'acide lactique et d'acides gras volatils dans l'estomac (Jørgensen *et al* 1999). L'ensemble de ces critères décrit en effet un milieu très défavorable à la survie des salmonelles.

2.3 / Constipation

Le broyage grossier des aliments est une solution régulièrement conseillée pour résoudre des problèmes de constipation, notamment des truies, mais il n'existe pas de recommandation précise de granulométrie pour éviter ou résoudre ce problème.

3 / Granulométrie, coefficients de digestibilité et performances

3.1 / Constitution d'une base de données pour analyse quantitative

De très nombreux rapports sur les conséquences zootechniques du broyage (digestibilités, tests de croissance) ne sont pas exploitables car les moutures ne sont pas caractérisées par une distribution granulométrique. Les informations sur les conséquences pour les truies sont rares et ne prêtent pas à compilation (Nuzback *et al* 1984, Wondra *et al* 1995b).

Nous avons néanmoins sélectionné 23 rapports dans le fond documentaire de l'UCAAB (liste disponible auprès des auteurs) portant sur des animaux en croissance (porcelets et porcs à l'engrais). Pour être intégrés dans la base de données, ces études devaient présenter l'influence du broyage sur les valeurs des digestibilités ou sur des performances de porcs et préciser la distribution des particules d'aliments non granulés après broyage. Dans les essais zootechniques, les aliments étaient formulés pour couvrir les besoins des animaux. Les taux d'incorporation des matières premières étudiées étaient identiques pour un même essai. Dans tous les cas, la matière pre-

mière étudiée faisait l'objet de différents broyages (types de broyeur, conduites du broyeur) avant incorporation dans le reste de la formule.

La base de données ainsi constituée comporte 102 enregistrements et regroupe des informations concernant : le blé (17 observations), la graine de colza entière (13 observations), le maïs (34 observations), l'orge (9 observations), le pois (2 observations) et le sorgho (26 observations). Les données proviennent d'Amérique du Nord (76 observations) ou de France (26 observations). Une observation élémentaire a été exclue car elle concernait des graines de colza non broyées et nous n'avons pas jugé pertinent de confondre l'effet du broyage avec l'effet du diamètre des graines en l'état (Skiba *et al* 1999). Les autres observations élémentaires de la publication ont été conservées.

Les coefficients d'utilisation digestive fécale apparente (CUD) de l'énergie et de l'azote sont disponibles pour trois matières premières : le maïs, le sorgho et la graine de colza. Les données de digestibilité iléale (DI) sont beaucoup plus rares. Nous disposons des valeurs de DI apparente de l'énergie pour du pois dépelliculé, du sorgho et des graines de colza entières. Les données de DI de l'azote collectées ne sont pas homogènes : certaines sont exprimées en DI apparente, d'autres en DI vraie, ce qui n'a pas permis la compilation.

Les effets de la matière première étudiée, du stade physiologique (porcelet ou porc), et du diamètre médian des particules ont été recherchés à l'aide de la procédure GLM de SASv6.12 (SAS Institute 1996, Cary, NC). Lorsque l'effet du diamètre médian était significatif, les calculs étaient repris intra-expérience de manière à isoler l'effet propre à la granulométrie. Les corrélations linéaires de Pearson ont été calculées entre les digestibilités et la croissance ou l'indice de consommation (procédure CORR de SASv6.12).

3.2 / Granulométrie et digestibilité

Le CUD de l'énergie (CUDE) est significativement influencé par le type de matière première étudié et par le diamètre médian des particules (figure 1), mais pas par le stade physiologique. Le CUD de l'azote (CUDN) est influencé par la matière première, le stade physiologique et le diamètre médian des particules (figure 2). Les effets sur la graine de colza entière sont plus marqués que pour les autres graines (blé, orge, maïs, sorgho). Le CUD de l'énergie diminue de 0,6 point et le CUD de l'azote de 0,8 point lorsque le diamètre médian augmente de 100 μm . Albar *et al* (2000) rapportent des mesures des digestibilités fécales de l'énergie et de l'azote réalisées avec des régimes contenant des céréales différentes (orge, blé, maïs, blé+pois) selon différents broyages. Les améliorations de digestibilité obtenues dans cette étude, non intégrée dans notre synthèse, corroborent nos calculs : 0,61 point d'amélioration du CUDE

La granulométrie de l'aliment a un effet sur la prévalence de plusieurs troubles digestifs.

Figure 1. Influence de la granulométrie sur l'utilisation digestive de l'énergie chez le porc.

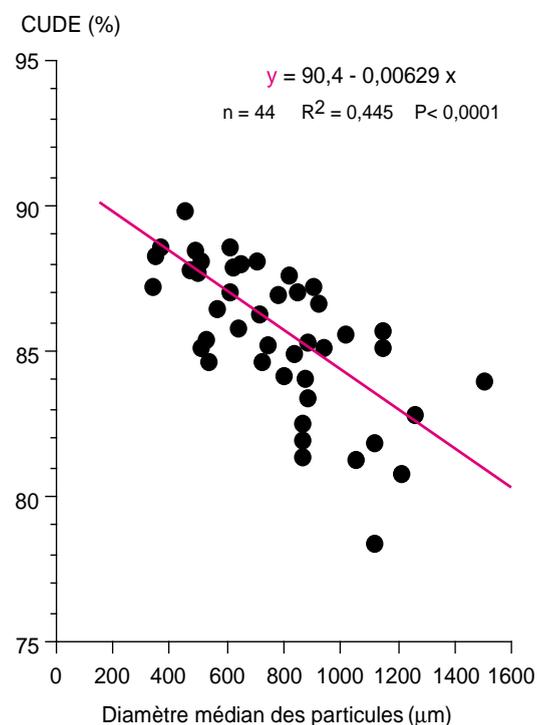
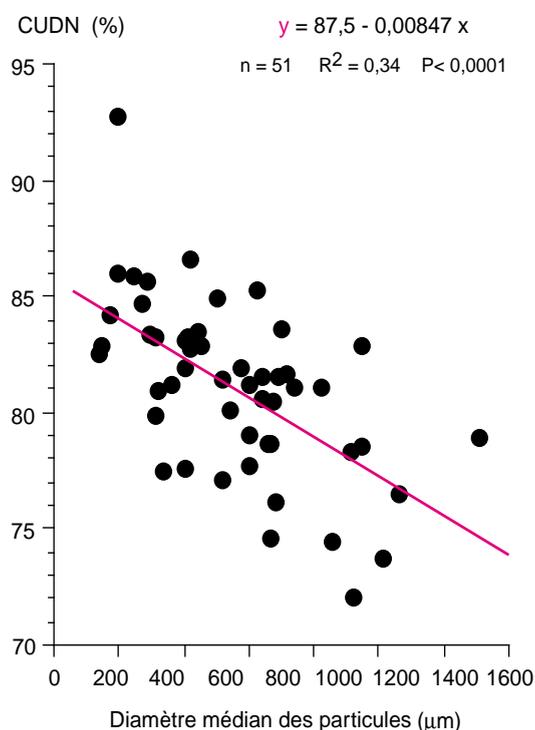


Figure 2. Influence de la granulométrie sur l'utilisation digestive de l'Azote chez le porc.



et 0,56 point pour le CUDN par 100 µm de diamètre en moins pour le régime à base de maïs (75 % des observations de notre base sont des régimes à base de maïs). Les régimes à base de blé et de blé+pois répondaient mieux au broyage que les régimes à base de maïs (1,22 point de CUDE par 100 µm), les régimes à base d'orge répondant moins (0,33 point CUDE par 100 µm). Toutefois, ces variations

restent faibles en comparaison à d'autres sources de variabilité de la valeur alimentaire (maîtrise des procédés de fabrication, variabilité des matières premières, présence d'additifs).

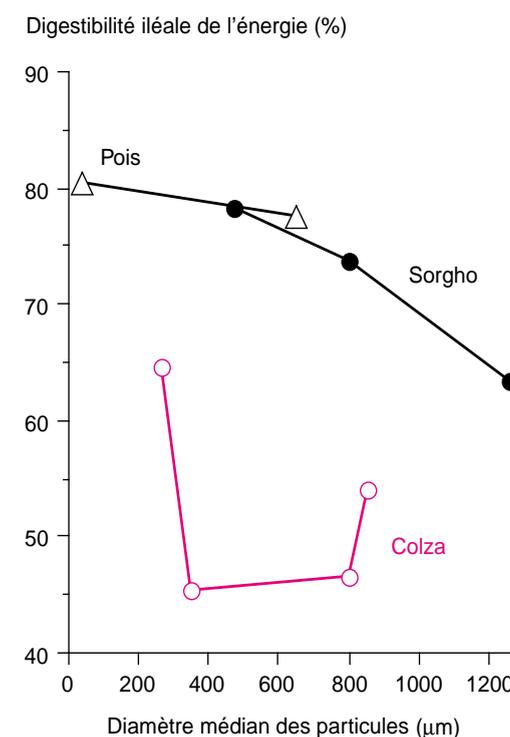
Les données de digestibilité iléale n'ont pas fait l'objet de traitement statistique, mais elles montrent un effet du diamètre médian des particules similaire à celui observé sur le CUDE (figure 3). La réponse de la graine de colza ressort encore de l'analyse, suggérant que le diamètre médian seul ne rend pas compte de tous les effets de la granulométrie sur la digestibilité de l'énergie. En l'absence de plus d'informations, il paraît hasardeux de spéculer sur une interaction entre la nature de l'énergie apportée par les graines (amylacées ou oléagineuses) et le broyage, mais cette voie mériterait d'être explorée.

3.3 / Granulométrie et performances de croissance

L'analyse a été réalisée séparément sur le porcelet et sur le porc en croissance – finition en raison d'un effet statistique dominant de la variable « stade physiologique ».

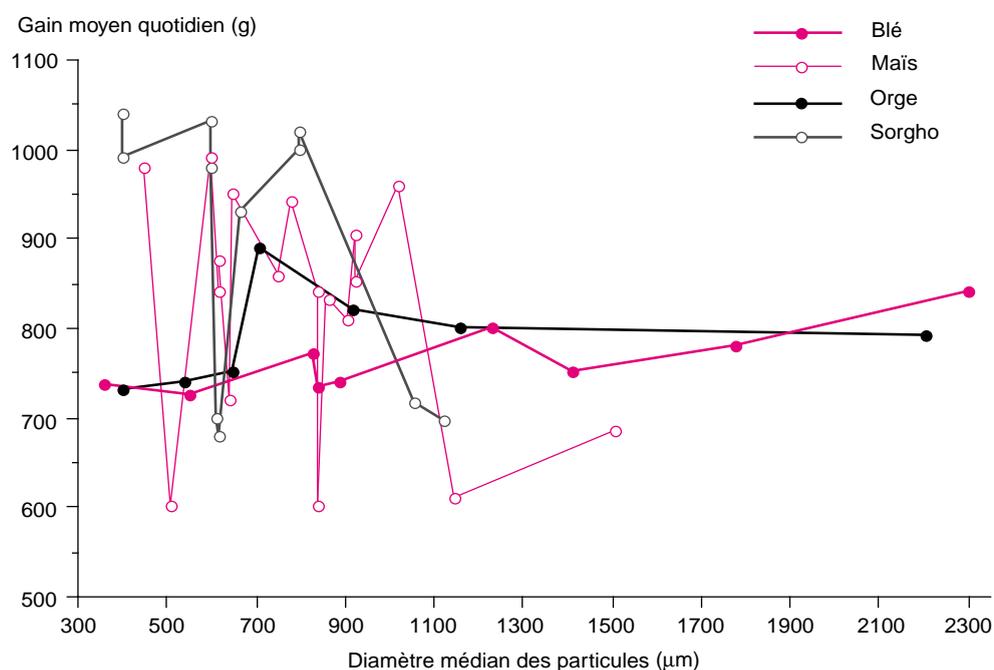
Chez les porcs en croissance – finition, le diamètre médian des particules n'a pas d'influence sur le gain moyen quotidien (figure 4) ou sur l'indice de consommation (figure 5). La réponse semble dépendre de la matière première principale, avec des effets contrastés pour les maïs et les sorghos : baisse apparente du gain moyen quotidien avec les diamètres médians élevés pour l'orge et, au contraire, augmentation avec les diamètres élevés pour le blé.

Figure 3. Influence de la granulométrie sur la digestibilité idéale de l'énergie chez le porc.



La digestibilité diminue quand la taille moyenne des particules augmente.

Figure 4. Influence de la granulométrie sur le gain moyen quotidien chez le porc.



Chez le porcelet, la taille des particules n'a pas d'effet sur le gain moyen quotidien (figure 6), mais elle est corrélée à l'indice de consommation ($P < 0,001$). Celui-ci augmente de 0,03 point lorsque le diamètre médian des particules augmente de 100 µm (figure 7). Ces résultats sont confirmés par ceux d'Albar *et al* (2000).

3.4 / Interactions entre granulométrie et granulation

L'expérience rapportée par Dirkzwager *et al* (1998) concerne des aliments complets broyés différemment, puis granulés dans les mêmes conditions, ces dernières n'étant mal-

heureusement pas décrites. La granulométrie était obtenue par tamisage sec sur les produits avant granulation, ou par tamisage humide sur les produits avant et après granulation. Ces dernières informations suggèrent que la granulation a pour effet de réduire la taille des particules (tableau 2). On note surtout l'augmentation de la fraction des particules de taille inférieures à 0,1 mm (qui intègre les solubles dans l'eau froide) et la diminution de la fraction des particules de taille supérieure à 2,0 mm. Dans cette étude, le broyage grossier améliorerait le gain de poids pendant la phase de croissance, mais pas pendant la phase de finition au cours de

La granulométrie de l'aliment a un effet très variable sur les performances de croissance, qui dépend de la céréale de base du régime.

Figure 5. Influence de la granulométrie sur l'indice de consommation chez le porc.

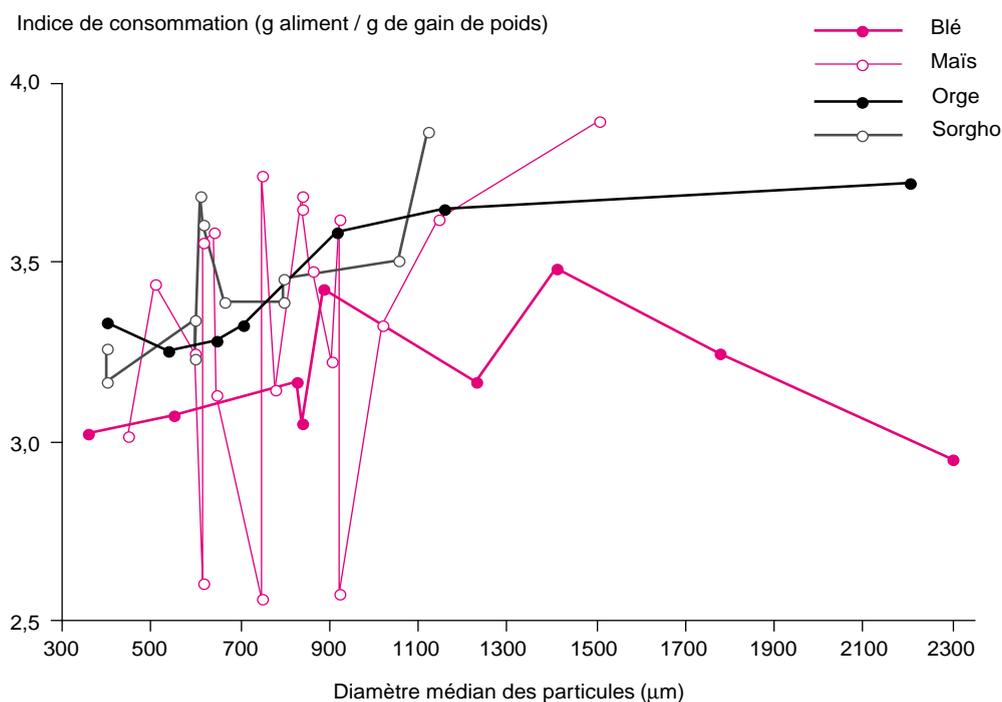
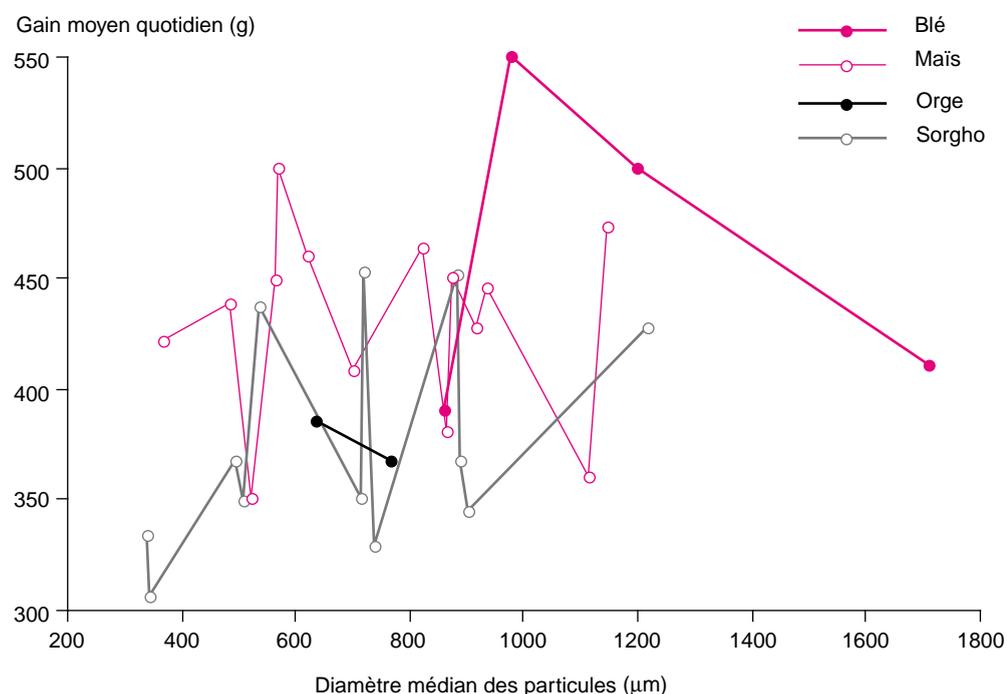
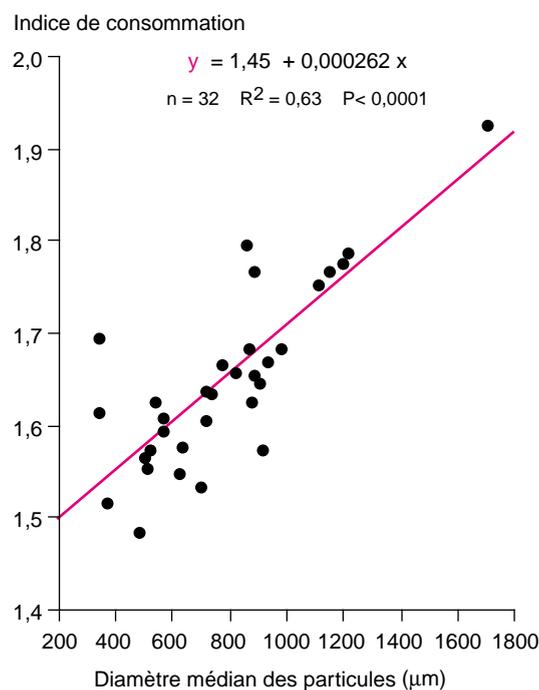


Figure 6. Influence de la granulométrie sur le gain moyen quotidien chez le porcelet.**Figure 7.** Influence de la granulométrie sur l'indice de consommation chez le porcelet.

laquelle l'indice de consommation a augmenté. On peut remarquer que, pour un broyage donné, avant ou après granulation, la distribution granulométrique n'était pas la même pour les phases de croissance et de finition. De plus, les écarts entre broyages « fin », « moyen » et « grossier » étaient moindres pour les formules « finition ». Le schéma expérimental ne permet donc pas de conclure à un effet de la formulation ou à un effet du stade de croissance du porc sur cette réponse divergente au broyage préalable à la granulation.

INRA Productions Animales, mai 2000

4 / Granulométrie et contraintes technologiques

L'industriel qui souhaiterait mettre en application les résultats énoncés précédemment se verrait contraint à gérer plusieurs moutures, rien que pour les aliments destinés aux porcs, et un certain nombre de facteurs supplémentaires interviennent.

4.1 / Diagramme industriel et dimension de l'usine

Le diagramme industriel (pré-mélange, pré-broyage, mixte) limite les possibilités de gérer un grand nombre de granulométries différentes. Il n'est pas toujours possible de broyer différenciellement certaines matières premières (exemple : diagramme en prémélange). De même, les volumes mis en œuvre ne permettent pas toujours de spécialiser un broyeur sur une matière première (exemple : graines oléagineuses). Enfin, le nombre de formules à gérer étant généralement très supérieur au nombre de cellules de stockage des matières premières, il est assez difficile de tenir compte des différences de réponse des porcelets, des porcs, des truies ou d'autres espèces animales.

4.2 / Stabilité des mélanges

Salimei *et al* (1995) rappellent l'influence de la granulométrie sur la stabilité d'un aliment de finition pour porcs lourds italiens après un transport de 100 km. La stabilité était meilleure pour des aliments dont le maïs était broyé à l'aide d'un broyeur à marteaux en comparaison à un broyeur à cylindres. Passer d'une grille de broyage de 2,0 mm à 1,25 mm améliorerait la stabilité de l'aliment pour le broyeur à marteaux et la dégradait pour le broyeur à

Tableau 2. Réduction de la taille des particules avec la granulation, estimée par tamisage humide (d'après Dirkzwager et al 1998).

Maille des tamis (mm)	Broyage fin		Broyage moyen		Broyage grossier	
	Avant gr.	Après gr.	Avant gr.	Après gr.	Avant gr.	Après gr.
Aliments croissance						
> 2,0	1	0	16	10	30	19
1,4 - 2,0	5	3	6	5	6	6
0,6 - 1,4	24	16	18	14	13	10
0,1 - 0,6	16	20	16	17	12	14
< 0,1	42	61	44	54	39	51
Aliments finition						
> 2,0	1	0	6	4	13	7
1,4 - 2,0	4	2	4	3	5	4
0,6 - 1,4	17	13	15	12	13	10
0,1 - 0,6	20	19	20	20	17	19
< 0,1	58	66	55	61	42	60

cylindres. Il n'y avait pas de corrélation significative entre le diamètre médian des particules et la stabilité. La maîtrise de la stabilité est très importante pour les livraisons d'aliments en vrac, car toute création d'hétérogénéité de l'aliment peut se répercuter sur les performances des porcs. De plus, en cas de contrôle, la probabilité de constater la non conformité de l'aliment aux valeurs déclarées augmente.

4.3 / Propriétés d'écoulement

La résistance à l'écoulement des farines est partiellement due aux fortes proportions de particules très fines. L'intensité des forces impliquées dans l'adhésion interparticulaire (forces de van der Waals, forces électrostatiques, etc) est en effet inversement proportionnelle au diamètre des particules. Cette propriété peut fortement limiter les performances de porcs nourris avec de la farine sèche (l'aliment ne « descend pas » dans le nourrisseur et les porcs sont anormalement rationnés). De même, la préparation des soupes (pour les truies et les porcs charcutiers principalement) peut s'en trouver affectée si l'aliment ne descend pas convenablement dans la soupière.

4.4 / Qualité des granulés

Les standards de qualité des granulés conditionnent la granulométrie des farines produites. Behnke (1995) estime à 20 % la part de variabilité de la qualité des granulés due à la mouture.

Conclusion

L'analyse quantitative des études disponibles a permis d'établir quelques lois associant la valeur alimentaire de certaines matières premières pour le porc et un critère simple de description de la granulométrie, le diamètre médian des particules. Les digestibilités sont mieux corrélées au diamètre médian des particules que les critères zootechniques. Ces derniers sont le résultat de processus digestifs et métaboliques nombreux, il n'est donc pas surprenant que les réponses soient moins spécifiques.

Cependant, des contraintes techniques limitent aujourd'hui l'applicabilité de ces informations en usine : les autres opérations industrielles (granulation, traitement à la vapeur, transport mécanique des farines, nécessité de préserver la stabilité des mélanges) ne permettent pas de faire varier la granulométrie à la carte.

Remerciements

A nos collègues D. Bravo, M. Panhéleux et D. Mathé pour leur assistance et leur relecture critique du manuscrit aux différents stades de son évolution ; à D. Sauvart (INA PG) et F. Gatel (ITCF) pour la communication de rapports dont ils disposaient.

Références

Albar J., Skiba F., Royer E., Granier R., 2000. 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. Journées Rech. Porcine en France, 32, 193-200.

Allee G.L., 1983. The effect of particle size of cereal grains on nutritional value for swine. First Int. Symp.

Particle Size Reduction in the Feed Industry, Kansas State University, Manhattan, USA, D1-D9.

ARC, 1981. The Nutrient Requirements of Pigs. Ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, Angleterre, xxii, 307 p.

Les contraintes de fabrication et de distribution des aliments doivent être maîtrisées avant de faire varier leur granulométrie.

- Ayles H.L., Friendship R.M., Bubenik G.A., Ball R.O., 1999. Effect of feed particle size and dietary melatonin supplementation on gastric ulcers in swine. *Can. J. Anim. Sci.*, 77, 179-185.
- Bastianelli D., 1996. Modélisation de la digestion chez le porc en croissance. Thèse INA-PG, Paris, 208 p.
- Bastianelli D., Sauvant D., Rérat A., 1996. Mathematical modelling of digestion and nutrient absorption in the pig. *J. Anim. Sci.*, 74, 1873-1887.
- Behnke K.C., 1995. Feed manufacturing technology current issues and challenges. Proc. Pacific NorthWest Animal Nutrition Conference, 103-116.
- Bernier J.J., Adrian J., Vidon N., 1988. Les aliments dans le tube digestif. Ed. Doin, Paris.
- CSIRO, 1987. Feeding standards for Australian livestock. Pigs. Ed. CSIRO Publ., East Melbourne, Australie, xvi, 226 p.
- CVB, 1997. Veevoedertabel 1997. Centraal Veevoederbureau, IJsselstein, Pays-Bas, 81 p.
- Danske Slagterier, 1994. Annual report 1994. The National Committee for Pig Breeding, Health and Production, Copenhagen, Danemark, 56 p.
- Danske Slagterier, 1995. Annual report 1995. The National Committee for Pig Breeding, Health and Production, Copenhagen, Danemark, 56 p.
- Dirkzwager A., Elbers A.R.W., Aar P.J. van der, Vos J.H., 1998. Effect of particle size and addition of sunflower hulls to diets on the occurrence of oesophagogastric lesions and performance in growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 53-60.
- Eisemann J.H., Argenzio R.A., 1999. Effects of diet and housing density on growth and stomach morphology in pigs. *J. Anim. Sci.*, 77, 2709-2714.
- Forbes J.M., Varley M.A., Lawrence T.L.J., 1989. The voluntary food intake of pigs. *Occ. Publ. Br. Soc. Anim. Prod.*, n° 13, BSAP, Midlothian, Ecosse, 123 p.
- INRA, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. INRA, Paris, 282 p.
- ISU Extension, 1996. Life cycle swine nutrition. Iowa Cooperative Extension Service, Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 42 p.
- ITCF, 1975. Influence de la granulométrie d'aliment à base de blé sur les performances zootechniques de porcs en finition. Compte rendu d'essai Areines Porcs 23, ITCF, Paris, 20 p.
- Jondreville C., Broecke J. van den, Gâtel F., Van Cauwenberghe S., 1995. Digestibilité iléale des acides aminés des matières premières chez le porc. ITCF-Eurolysine, Paris, 53 p.
- Jongbloed A.W., 1988. Phosphorus in the feeding of pigs. Effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs. Thèse PhD, Univ. Wageningen, Pays Bas, 343 p.
- Jørgensen L., Dahl J., Wingstarnd A., 1999. The effect of feeding pellets, meal and heat treatment on the salmonella-prevalence in finishing pigs. 1999 ISECSP: Production Intervention, 308-312.
- Kjeldsen N., Dahl J., 1999. The effect of feeding non-heat treated, non-pelleted feed compared to feeding pelleted, heat treated feed on the salmonella-prevalence of finishing pigs. 1999 ISECSP: Production Intervention, 313-315.
- Laplace J.P., Corring T., Rérat A., Demarne Y., 1986. Digestion. In : Pérez J.M., Mornet P., Rérat A. (eds), *Le Porc et son élevage. Bases scientifiques et techniques*, 65-120. Ed. Maloine, Paris.
- Maxwell C.V., Reimann E.M., Hoekstra W.G., Kowalczyk T., Benevenga N.J., Grummer R., 1970. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. *J. Anim. Sci.*, 30, 911-922.
- Noblet J., Fortune H., Dubois S., Henry Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA, Paris, 106 p.
- NPPC, 1996. Feed purchasing manual. National Pork Producers Council, Des Moines, Iowa, USA, 96 p.
- NRC, 1998. Nutrient requirements of swine. Tenth revised edition. Ed. National Academy Press, Washington D.C., USA, 189 p.
- Nuzbak L.J., Pollmann D.S., Behnke K.C., 1984. Effect of particle size and physical form of sun cured alfalfa on digestibility for gravid swine. *J. Anim. Sci.*, 58, 378-385.
- RPAN, 1993. RhodimetTM Nutrition Guide. 2ème édition 1993. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. Rhône-Poulenc Animal Nutrition, Antony, 55 p.
- Salimei E., Savoini G., Fantuz F., Polidori F., 1995. Milling type effects on particle size and stability of mixed feeds for finishing pigs (poster). Atti XI° Congresso Nazionale ASPA, Grado, Italie, 19-22 Giugno 1995, 277-278.
- Skiba F., Castaing J., Evrard J., Melcion J.P., Hazouard I., Gâtel F., 1999. Valeur alimentaire de graines et tourteaux de colza en fonction des traitements technologiques chez le porcelet en post-sevrage. Journées Rech. Porcine en France, 31, 215-221.
- Wolter R., 1982. Pathologie d'origine alimentaire. In : Mornet P., Tournut J., Toma B. (eds), *Le Porc et ses maladies*, 373-390. Ed. Maloine, Paris.
- Wondra K.J., Hancock J.D., Behnke K.C., Hines R.H., Stark C.R., 1993. Effects of hammermills and roller mills on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. Swine day report 1993, Kansas State University, Manhattan, USA, p 315.
- Wondra K.J., Hancock J.D., Behnke K.C., Hines R.H., Stark C.R., 1995a. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 73, 757-763.
- Wondra K.J., McCoy R.A., Hancock J.D., Behnke K.C., Hines R.H., Fahrenholz C.H., Kennedy G.A., 1995b. Effect of reducing particle size of corn in lactation diets on energy and nitrogen metabolism in second parity sows. *J. Anim. Sci.* 73, 427.

Abstract

Feed particle size and pig nutrition

Particle size description of diets for swine is not included in the nutritional recommendations from major scientific organisations world-wide. Nevertheless, the effect of particle size as a source of variation of the nutritional value of grains for swine, and as an etiological factor for digestive disorders, has been demonstrated in a large number of reported works. A quantitative database was built from data from 23 scientific papers and internal reports, in order to derive response laws to particle size variation for nutritional value. In growing swine (weaned piglets and growing-finishing pigs), energy faecal digestibility is reduced by 0.6 unit and nitrogen faecal digestibility by 0.8 unit when particle size increases by 100 µm. Among technical parameters, only feed conversion (FCR) of piglets is related to particle size : an FCR increase of 0.03 unit corresponded to a 100 µm increase in average particle size.

These ranges are low compared with other sources of variation in digestive or metabolic use of diets.

Studying the influence of particle size is complicated by the integration of indirect effects on nutritional value, such as mix stability, or by interactions with elementary steps of the process other than grinding (example : pelleting). Moreover, optimal particle size selection depends on factors other than nutritional - like flowing properties of the meal : feed restriction due to poor flowing properties is still a real concern. Technical constraints nowadays still override nutritional benefits in the decision making process for high quality meal.

GUILLOU D., LANDEAU E., 2000. Granulométrie et nutrition porcine. INRA Prod. Anim., 13, 137-145.