

Effet de la granulation sur la valeur alimentaire d'aliments complets à base de céréales (blé, orge et maïs) chez le porcelet sevré et le porc en croissance

Justine DANEL, Patrick CALLU, Maria VILARIÑO

ARVALIS - Institut du végétal, Pouligne, 41100 Villerable, France

j.danel@arvalisinstitutduvegetal.fr

Avec la collaboration technique d'Aurélien Roche, Jean-Marc Bertin et Jean-Yves Moreau.

Effet de la granulation sur la valeur alimentaire d'aliments complets à base de céréales (blé, orge et maïs) chez le porcelet sevré et chez le porc en croissance

Généralement, le processus de granulation améliore la valeur nutritionnelle des aliments. L'objectif de ce projet était de mesurer l'effet de la céréale incorporée (blé, orge, maïs) sur l'amélioration de la valeur nutritionnelle obtenue par la granulation des aliments, chez le porcelet sevré et le porc en croissance. Un aliment avec le mélange des trois céréales a également été évalué. Trois essais ont été conduits dont deux essais de digestibilité fécale, l'un sur des porcelets sevrés (15 kg) et l'autre sur des porcs en croissance (63 kg). Dans les deux cas, un dispositif factoriel avec quatre aliments × deux présentations (farine et granulé) et cinq (ou quatre) animaux par traitement, a été utilisé. Le troisième essai, de digestibilité iléale sur cinq porcs modifiés chirurgicalement (anastomose iléo-rectale), a permis de comparer les deux présentations d'un aliment constitué du mélange des trois céréales. Tous profils de céréale confondus, un avantage significatif de la granulation a été mis en évidence sur la digestibilité fécale de l'énergie, plus important chez les porcs charcutiers (+2,4 points) que chez les porcelets (+1,1 point). Chez les porcelets, cet effet de la granulation est plus marqué pour les aliments orge et maïs (respectivement +1,6 et +1,9 point). Chez les porcs en croissance, l'effet est plus important aussi bien sur les aliments blé, orge que maïs (respectivement +2,3, +3,1 et +2,1 points). Au vu des résultats sur le mélange des trois céréales, l'effet positif de la granulation sur la digestibilité de l'énergie ne se retrouve que chez le porc en croissance. La granulation améliore significativement la digestibilité iléale standardisée des protéines (+2,2 points) et des acides aminés (+1,5 point) de l'aliment à base des trois céréales.

Effect of pelleting on the nutritive value of complete cereal-based diets (wheat, barley and corn) in weaned piglets and growing pigs

Usually, pelleting improves the nutritional value of feed. The aim of this research project was to measure the effect of the incorporated cereal (wheat, barley, corn) on the improvement of nutritional value by pelleting in weaned piglets and growing pigs. A feed with the mix of the three cereals was also assessed. Three trials were carried out, two trials of fecal digestibility measures, one in weaned piglets (15 kg) and the other in growing pigs (63 kg). In both cases, a factorial plan was used with four feeds x two forms (meal or pellet) and five (or four) animals by treatment. The third trial, with measures of ileal digestibility in five growing pigs surgically modified (ileorectal anastomosis), allowed us to compare the two forms for the same feed with a mix of three cereals. In all the cereal profiles, a significant advantage of pelleting was highlighted on the digestibility of energy, higher in growing pigs (+2.4 points) than in piglets (+1.1 point). In piglets, pelleting has a more pronounced effect in barley and corn-based diets (+1.6 and +1.9 point). In growing pigs, there is a greater effect as much with the wheat and barley as with the corn-based diet (+2.3, +3.1 and +2.1 points). In the light of the results of the three cereals mix, the positive effect of pelleting on the digestibility of energy is only found in growing pigs. Pelleting improves the standardised ileal digestibility of proteins (+2.2 points) and of amino acids (+1.5 point) for the three-cereal based diet.

INTRODUCTION

La granulation des aliments permet de diminuer le gaspillage et la poussière ambiante. De plus, elle facilite la manipulation et la distribution des aliments. Des résultats récents ont montré l'effet positif de la granulation d'aliments complets chez le porc en croissance sur le gain moyen quotidien (+3 à +7 % selon une distribution *ad libitum* ou rationnée, respectivement) et l'indice de consommation (+5 % à consommation équivalente), par rapport à un aliment présenté en farine (Royer et Granier, 2015). Cette amélioration des performances a également été montrée chez le porcelet (Gaudré et Saulnier, 2014).

Par contre, peu de données sont publiées quant à l'équivalence ou non des effets de la granulation entre toutes les céréales. Dans une publication ancienne, Fekete *et al.* (1983) évoquaient l'impact positif de la granulation sur l'efficacité alimentaire chez le porcelet sevré quelle que soit la céréale. Auparavant, Bertrand *et al.* (1977) avaient montré chez le porcelet sevré, une interaction « céréale x présentation » significative dans des régimes avec une incorporation de 60 % d'une céréale (blé, orge ou maïs). Ainsi, la granulation avait un effet plus important sur la croissance des porcelets ayant consommé le régime orge (+23 % par rapport à la farine). Cette amélioration des performances et donc de l'indice de consommation est expliquée très probablement par une meilleure disponibilité des nutriments. Medel *et al.* (1999) ont rapporté chez des porcelets sevrés une amélioration des performances et de la digestibilité fécale de la matière organique dans le cas où les céréales avaient subi un procédé thermique, quel qu'il soit. De plus, selon les céréales utilisées dans l'aliment, la digestibilité des nutriments de la ration peut varier. L'effet de la granulation est-il lié à la céréale utilisée ?

Les objectifs des essais présentés étaient de mesurer l'effet de la granulation sur la valeur alimentaire d'aliments complets à base d'une céréale (blé, orge ou maïs) et d'un mélange des trois céréales chez le porcelet sevré et chez le porc en croissance. L'effet a également été testé sur les digestibilités iléales standardisées des protéines et des acides aminés d'un aliment complet (trois céréales) granulé ou non.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Matières premières et aliments

La composition des céréales utilisées dans les aliments expérimentaux est détaillée dans le tableau 1. Les analyses des teneurs en mycotoxines ont montré des résultats sous les seuils de détection pour les trois céréales en ce qui concerne les trichothécènes, la zéaralénone et les fumonisines. Pour le déoxynivalénol, les teneurs sont très faibles, de 74 et 171 µg/kg respectivement pour le blé et le maïs et sont sous le seuil de détection pour l'orge.

Les matières premières (céréales) ont été broyées avec un broyeur à marteaux de type FAO (TITAN 2000) à une vitesse de 3000 t/minute (soit 64 m/s) muni d'une grille de 4 mm. La composition prévisionnelle des aliments est détaillée dans le tableau 2. Les formules ont été ajustées pour obtenir des valeurs nutritionnelles équilibrées avec le logiciel Evapig®. La distribution s'est faite sous forme de farine ou de granulés afin d'étudier l'effet de la granulation. La granulation a été réalisée à l'aide d'une presse de type Meccanica avec une filière de diamètre 3,2 x 40 mm.

Pour chaque essai, les aliments sont distribués humidifiés (1,5 volume d'eau pour un d'aliment) en deux repas égaux par jour.

Tableau 1 – Composition analytique des céréales (% MS)¹.

Matières Premières	Blé	Orge	Maïs
Caractéristiques²			
MM	1,6	2,3	1,2
MAT	10,9	8,2	9,1
EB, kcal/kg MS	4418	4394	4542
CB	2,7	4,8	2,5
NDF	12,0	17,3	11,4
ADF	3,3	5,1	2,7
ADL	1,0	1,0	0,5
Parois ins. dans l'eau	-	-	9,4
Amidon Ewers	72,2	67,5	74,6
MG h	3,2	3,1	4,7

¹MS : Matière Sèche ; ²MM : Matières Minérales ; MAT : Matières Azotées Totales ; EB : Energie brute ; CB : Cellulose Brute ; MG h : Matières Grasses avec hydrolyse.

1.2. Essai de digestibilité fécale sur porcelets sevrés

Quatre aliments complets à base de céréales ont été formulés et distribués sous deux modes de présentation : farine (F) ou granulés (G). Les taux d'incorporation des céréales étaient respectivement de 76,2, 70,3 et 75,8 % pour les aliments à base de blé (B), d'orge (O), de maïs (M) et 25,0 % de chaque pour l'aliment à base du mélange des trois céréales (Mix). Aux céréales étaient ajoutés du tourteau de soja (16,7, 21,3, 19,1 et 18,8 %, respectivement pour les aliments B, O, M et Mix), des minéraux, des acides aminés de synthèse et de l'huile.

L'objectif de formulation était d'obtenir des aliments avec des teneurs en lysine digestible identiques (1,31 % de matière sèche, MS) ainsi que des valeurs de matières azotées totales (MAT = 18,4 % MS) et de rapport acides aminés (AA) essentiels digestibles sur lysine digestible proches (Tableau 2).

L'ajustement des rations a permis de respecter un niveau d'ingéré compris entre 3,3 et 3,5 % du poids vif (calculé pour un aliment à 87 % MS).

Les mesures de digestibilité fécale ont été effectuées sur 40 porcelets mâles castrés sevrés à 28 jours, de type Youna x (Piétrain x Large White), en deux bandes consécutives. Chaque traitement a été distribué à cinq porcelets répartis sur les deux bandes. Au début de la collecte, ils étaient âgés de 48 jours et avaient des poids vifs moyens compris entre 14,6 et 15,3 kg. Après 9 jours d'adaptation aux régimes et à l'hébergement, les animaux ont été mis en collecte totale pendant 3 jours afin de mesurer les coefficients d'utilisation digestive au niveau fécal (CUDf) de la MS, de la matière organique (MO), de l'énergie brute (EB), de la MAT et de l'amidon.

1.3. Essai de digestibilité fécale sur porcs en croissance

Quatre aliments complets à base de céréales ont été formulés et distribués sous deux modes de présentation : F ou G. Les taux d'incorporation des céréales étaient respectivement de 81,4, 75,4 et 80,6 % pour les aliments B, O et M et 26,7 % de chaque pour l'aliment Mix. Aux céréales étaient ajoutés du tourteau de soja (13,0 - 17,8 - 15,7 et 15,3 %, respectivement pour les aliments B, O, M et Mix), des minéraux, des acides aminés de synthèse et de l'huile.

Tableau 2 - Composition prévisionnelle des aliments (% de la matière sèche)

Aliments ¹	Essai porcelets sevrés				Essai porcs en croissance			
	BF/BG	OF/OG	MF/MG	MixF/MixG	BF/BG	OF/OG	MF/MG	MixF/MixG
Matière sèche, %	88,4	86,6	87,1	87,2	88,2	86,3	86,9	87,0
Cendres	5,6	6,4	5,6	5,9	4,4	5,2	4,4	4,7
Matières azotées	18,5	18,4	18,4	18,4	16,6	16,5	16,6	16,6
Matières grasses	3,9	6,0	3,8	3,8	3,9	6,0	3,9	3,7
Cellulose brute	3,0	5,0	3,1	3,7	2,9	5,0	3,0	3,7
NDF	13,1	17,9	11,7	14,4	13,4	18,5	11,8	14,8
ADF	4,1	6,1	38,5	47,5	4,0	6,2	3,7	4,7
Amidon	52,7	41,5	55,7	50,5	56,5	44,6	59,4	54,1
Sucres	3,6	3,8	3,2	3,5	3,4	3,6	3,0	3,3
Lysd	1,31	1,31	1,31	1,31	1,0	1,0	1,0	1,0
Thrd / Lysd, %	65	65	65	65	70	70	70	70
Met+Cysd / Lysd, %	62	60	61	60	70	71	72	71
Trpd / Lysd, %	21	21	21	21	19	19	19	19
Vald / Lysd, %	70	70	71	70	74	77	79	77
ED prévisionnelle, kcal/kg MS	3807	3692	3816	3734	3831	3702	3843	3751

¹ Aliments : BF : Blé Farine ; BG : Blé Granulés ; OF : Orge Farine ; OG : Orge Granulés ; MF : Maïs Farine ; MG : Maïs Granulés ; MixF : Mélange Farine ; MixG : Mélange Granulés ; NDF : Neutral Detergent Fiber ; ADF : Acid Detergent Fiber ; Lysd : lysine digestible ; Metd : Méthionine digestible ; Cysd : Cystéine digestible ; Thrd : Thréonine digestible ; Trpd : Tryptophane digestible ; Vald : Valine digestible ; ED : énergie digestible.

Tableau 3 – Valeurs d'utilisation digestive (MO, MAT, Amidon et EB) et teneurs en énergie digestible des aliments selon la céréale et le mode de présentation

a- Essai porcelets sevrés (5 animaux par modalité)

Coefficient d'Utilisation Digestive au niveau fécal, % ¹	Aliments ²								Statistiques ³			ETR ⁴
	BF	BG	OF	OG	MF	MG	MixF	MixG	C	P	C x P	CVR ⁵
MS	88,9	89,0	84,5	85,6	88,0	88,5	88,3	87,8	***	NS	NS	1,3 / 1,5
MO	90,5	90,7	86,2	87,3	89,4	90,4	89,6	89,5	***	NS	NS	1,2 / 1,3
MAT	87,6	87,0	81,2	82,6	86,8	85,5	85,7	85,4	***	NS	NS	2,2 / 2,6
amidon	99,4	99,3	99,2	99,5	99,6	99,6	99,3	99,5	*	NS	NS	0,2 / 0,2
EB	88,0	88,5	83,5	85,1	86,9	88,8	87,3	87,6	***	*	NS	1,5 / 1,7
ED, kcal/kg MS	3867	3892	3740	3829	3792	3898	3815	3844	*	**	NS	66 / 1,7

b- Essai porcs en croissance (4 animaux par modalité)

Coefficient d'Utilisation Digestive au niveau fécal, % ¹	Aliments ²								Statistiques ³			ETR ⁴
	BF	BG	OF	OG	MF	MG	MixF	MixG	C	P	C x P	CVR ⁵
MS	88,2	89,7	82,0	84,5	88,4	89,0	86,5	87,9	***	***	NS	1,1 / 1,2
MO	89,8	91,5	83,8	86,3	89,9	90,7	88,3	89,6	***	***	NS	0,9 / 1,0
MAT	84,4	88,1	76,8	79,0	85,7	86,2	83,0	84,8	***	**	NS	1,7 / 2,0
amidon	99,2	99,4	98,8	99,5	99,6	99,7	99,3	99,6	***	***	*	0,0 / 0,0
EB	87,4	89,7	81,0	84,1	87,5	89,6	85,6	87,8	***	***	NS	1,2 / 0,0
ED, kcal/kg MS	3876	3992	3667	3803	3877	3977	3784	3883	***	***	NS	51,1 / 1,3

¹ MS : matière sèche ; MO : matière organique ; MAT : matières azotées totales ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible.

² BF : Blé Farine ; BG : Blé Granulés ; OF : Orge Farine ; OG : Orge Granulés ; MF : Maïs Farine ; MG : Maïs Granulés ; MixF : Mélange Farine ; MixG : Mélange Granulés ;

³ Analyse de variance avec les effets de la présentation (P), du type de céréale (C) et leur interaction (C x P). NS : P > 0,05 ; * : P < 0,05 ; ** : P < 0,01 ; *** : P < 0,001

⁴ ETR : écart-type résiduel pour l'analyse variance

⁵ Coefficient de variation résiduel (=ETR/moyenne)

L'objectif de formulation était d'obtenir des aliments avec des teneurs en lysine digestible identiques (1,0 % MS) ainsi que des valeurs de MAT (16,6 % MS) et de rapport AA essentiels digestibles sur lysine digestible proches (Tableau 2). L'ajustement des rations a permis de respecter un niveau d'ingéré de 3,5 % du poids vif (calculé pour un aliment à 87 % MS).

Les mesures de digestibilité fécale ont été effectuées sur 32 porcs mâles castrés en croissance (quatre porcs par traitement), en deux bandes consécutives, ayant des poids vifs moyens en début de collecte de 61,8 à 64,7 kg. Les quatre répétitions par traitement ont été réparties sur les deux bandes. Cet essai avait le même dispositif et les mêmes mesures que l'essai précédent.

1.4. Essai de digestibilité iléale sur porcs shuntés

Un aliment complet à base des trois céréales a été formulé (MAT = 16,2 % MS ; Σ AA = 16,0 % MS). A chaque céréale incorporée à 25,8 %, ont été ajoutés 15,3 % de tourteau de soja ainsi que des minéraux, des acides aminés de synthèse et de l'huile. Cet aliment a été distribué sous deux modes de présentation : farine ou granulé. La ration était ajustée pour un apport minimum de 70 à 75 g MS ingérée/kg PV^{0,75}.

Des mesures de digestibilité iléale des deux aliments expérimentaux ont été effectuées sur cinq porcs modifiés chirurgicalement (anastomose iléo-rectale termino-terminale selon la technique décrite par Laplace *et al.*, 1989), durant deux semaines consécutives, dans un dispositif en carré latin incomplet.

Après 5 jours d'adaptation au régime et à l'hébergement, les animaux ont été mis en collecte totale pendant 2 jours afin de mesurer la digestibilité apparente et standardisée au niveau iléal (DIA / DIS) de la MAT et de la lysine par porc et de l'ensemble des acides aminés sur un pool des cinq individus par traitement. Le poids moyen des animaux à la collecte était de 55,8 kg.

Afin de calculer la DIS, l'excrétion azotée endogène d'origine basale a été mesurée à partir d'un aliment protéoprive (58 % amidon de maïs, 30 % de sucre, huile de soja, cellulose, minéraux, acides aminés de synthèse). Elle a été réalisée en fin d'essai sur les 5 animaux de façon simultanée.

1.5. Analyses statistiques

Les données ont été analysées avec le logiciel R 2.15.0. Pour les deux premiers essais, une analyse de variance a été réalisée en prenant en compte les effets de la céréale incorporée, du mode de présentation, de la bande, et de leurs interactions. Les comparaisons multiples de moyennes ont été faites avec le test de Tukey.

Pour le troisième essai, les mesures de digestibilités de la MAT et de la lysine, réalisées en individuel dans un dispositif en carré latin incomplet, ont été comparées par analyse de variance en intégrant l'effet du mode de présentation et de la semaine de test.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Essai de digestibilité fécale sur porcelets sevrés

Les résultats des mesures de digestibilité sur porcelets sont présentés dans le tableau 3a. Aucun effet bande n'a été mis en évidence.

L'analyse statistique effectuée sur les six aliments avec une seule céréale ou celle avec les huit aliments donnant les mêmes conclusions, seuls les résultats de l'analyse sur l'ensemble des aliments sont présentés. De plus, l'absence d'interaction céréale / présentation permet de présenter et interpréter les effets simples.

Toutes céréales confondues, la granulation n'a eu d'effet significatif positif ($P < 0,05$) que sur le CUDf de l'énergie (+1,1 point) ce qui se traduit par une amélioration significative de l'énergie digestible (ED) des aliments (+62 kcal/kg MS ; $P < 0,05$). Cette augmentation est plus marquée pour les aliments OG (+89 kcal/kg MS) et MG (+106 kcal/kg MS), même si l'interaction céréale x présentation n'est pas significative. Il est possible que cet écart numérique obtenu sur le maïs soit dû à un effet positif de la granulation sur la matière grasse, observé par Skiba *et al.* (2002).

Les CUDf de la MO, de la MAT et de l'EB sont plus faibles pour les aliments à base d'orge ($P < 0,001$). Le CUDf moyen de la MO des aliments OF/OG n'est que de 86,8 % contre 90,6 et 89,9 % pour les aliments BF/BG et MF/MG, respectivement. En ce qui concerne le CUDf de la MAT, la différence est plus importante (81,9 % contre 87,3 et 86,2 %, respectivement pour les aliments OF/OG, BF/BG et MF/MG). La digestibilité de l'amidon est dans tous les cas très élevée puisque supérieure à 99 %. La variabilité étant faible, les écarts ressortent significatifs ($P < 0,05$), mais n'ont pas de signification biologique. Ainsi, dès le stade post-sevrage, l'amidon est déjà bien valorisé par les porcelets, ce qui est en accord avec Guillou *et al.* (2007), qui ont montré que l'amidon était digéré à plus de 99 % au niveau iléal chez le porcelet. Le CUDf de l'EB des aliments OF/OG est significativement inférieur de +3,9 ; +3,5 et +3,2 points, respectivement par rapport aux aliments BF/BG, MF/MG ou MixF/MixG ($P < 0,001$).

2.2. Essai de digestibilité sur porcs en croissance

Les résultats des mesures de digestibilité sur porcs en croissance sont présentés dans le tableau 3b. Aucun effet bande n'a été mis en évidence. L'analyse statistique effectuée sur les six aliments avec une seule céréale ou celle avec les huit aliments donnant les mêmes conclusions, seuls les résultats de l'analyse sur l'ensemble des aliments sont présentés. De plus, l'absence d'interaction céréale / présentation, excepté pour la digestibilité de l'amidon, permet de présenter et interpréter les effets simples.

La granulation améliore de manière significative la digestibilité des nutriments des aliments : +2 points pour la MAT ($P < 0,01$) et +2,4 points pour l'énergie ($P < 0,001$). Ce résultat est en accord avec Wondra *et al.* (1995), qui ont montré pour un aliment à base de 83 % de maïs, un effet positif de la granulation sur la digestibilité des protéines en plus de l'amélioration des performances chez des porcs en finition. Ainsi, les teneurs en ED sont en moyenne significativement supérieures pour les formes granulées (+113 kcal/kg MS ; $P < 0,001$) par rapport à la farine.

La granulation améliore seulement numériquement l'ED des aliments B, M et Mix, respectivement de 116, 100 et 99 kcal/kg MS (non significatif). L'effet est significatif sur l'ED de l'aliment O (+136 kcal/kg MS ; $P < 0,001$), amélioration due à la différence de digestibilité fécale de l'énergie de 3,1 points. Les CUDf de la MO, de la MAT et de l'énergie des aliments B et M ne sont pas significativement différents entre eux et sont égaux ou supérieurs à 90,3, 85,9 et 88,5 %, respectivement.

Ceux des aliments O sont significativement inférieurs à la moyenne des aliments B et M (-5,4 points pour la MO ; -6,0 points pour l'énergie et -8,2 points pour la MAT). L'importance de la différence de CUDf de la MAT entre les aliments OF/OG et les autres, montre que même si la teneur en tourteau de soja était variable entre les aliments (+4,8 et +2,1 points par rapport aux aliments B et M), cela ne semble pas pouvoir expliquer les variations observées. Une grande partie du résultat serait donc due à la céréale.

Dans cet essai, la digestibilité fécale de l'amidon (Tableau 3b) diffère significativement selon la céréale ($P < 0,001$) et selon le mode de présentation ($P < 0,001$), avec une forte interaction entre céréale et présentation ($P < 0,001$). Le même commentaire que précédemment peut être fait, à savoir que la faible variabilité des valeurs fait ressortir des différences significatives sans réalité biologique.

Le but principal de ces essais était de comparer l'effet de la granulation sur plusieurs céréales, seules ou en mélange. L'impact sur la digestibilité de l'énergie et la valeur énergétique de ce procédé a été évalué selon la céréale incorporée dans l'aliment et selon l'âge de l'animal. Dans cette étude, la granulation améliore la digestibilité fécale de l'énergie chez les porcelets ($P < 0,05$) comme chez les porcs en croissance ($P < 0,001$). Cependant, les écarts entre les deux modes de présentation d'un même aliment sont plus importants numériquement au stade croissance qu'en post-sevrage (respectivement pour B, O, M et Mix : +2,3 vs 0,5 ; 3,1 vs 1,6 ; 2,1 vs 1,9 et 2,2 vs 0,3 ; Figure 1). De plus, même si l'interaction ne ressort pas significative sur le critère énergie dans ces essais, la digestibilité de l'énergie de l'aliment O est significativement plus élevée sous forme granulée chez le porc en croissance. Enfin, les résultats obtenus sur porcelets montrent que l'effet positif de la granulation sur les aliments M et O ne se retrouve pas sur l'aliment Mix. Alors que chez le porc en croissance, quelle que soit la céréale incorporée dans les aliments, la digestibilité est améliorée, amélioration qui se retrouve sur l'aliment Mix. L'effet semble donc plus marqué pour certaines céréales et dépend également du stade physiologique de l'animal.

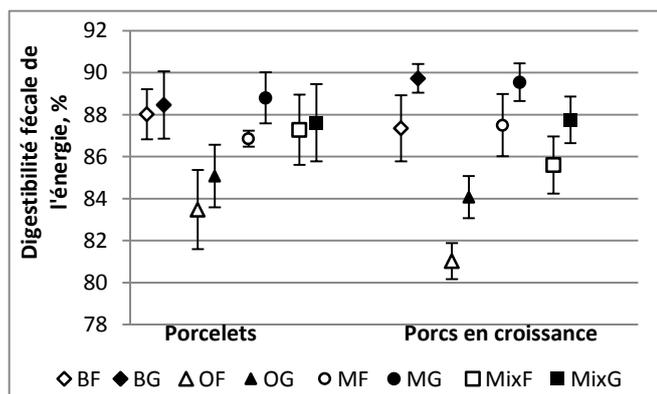


Figure 1 – Comparaison des digestibilités fécales de l'énergie brute des aliments à base d'une céréale en farine ou en granulés chez le porcelet et le porc en croissance.

BF : Blé Farine ; BG : Blé Granulés ; OF : Orge Farine ; OG : Orge Granulés ; MF : Maïs Farine ; MG : Maïs Granulés, MixF : Mélange Farine ; MixG : Mélange Granulés.

Les résultats de Ball *et al.* (2015) appuient cette conclusion, puisqu'ils ont montré que la granulation augmentait significativement la digestibilité de la matière sèche et la teneur en énergie digestible et tendait à améliorer la digestibilité de l'énergie et de la MO d'aliments complets, chez des porcs en finition.

Chez le porc en croissance, les valeurs d'ED mesurées sont relativement proches des valeurs prévisionnelles pour les aliments en farine (différence entre -36 et +45 kcal/kg MS), alors que pour les aliments granulés, la différence est plus importante (de +101 à +161 kcal/kg MS ; Tableaux 2 et 3). Cette observation confirme un effet positif de la granulation sur la valeur d'ED attendue. Chez le porcelet, les plages de variation sont plus difficiles à décrire, certainement parce que les valeurs nutritionnelles de formulation disponibles sont celles de porcs en croissance.

Dans nos essais, il faut également noter que la digestibilité de l'amidon d'aliments à base de céréales est élevée dès le stade post-sevrage. De plus, la granulation n'a d'effet positif significatif sur la digestibilité fécale des protéines dans les essais présentés que chez les porcs en croissance.

Ces différents éléments confirment que l'effet de la granulation sur la digestibilité d'un même nutriment peut être plus ou moins marqué selon le stade physiologique de l'animal.

2.3. Essai de digestibilité iléale

Les écart-types de DIS intra-traitement sont faibles (Tableau 4). La granulation améliore de façon significative les digestibilités iléales apparente et standardisée des protéines et de la lysine ($P < 0,05$). Les valeurs moyennes de DIS de la MAT et de la lysine sont respectivement supérieures de +2,1 et +1,5 points pour la forme granulée par rapport à la forme farine.

Tableau 4 – Valeurs de digestibilités iléales standardisées (DIS) des protéines et des principaux acides aminés des aliments Mix F et MixG.

	DIS ¹	Aliment ²		Statistiques ³		ETR ⁴
		MixF	MixG	P	Sem	CVR
individuel	MAT	83,6b	85,7a	*	NS	1,3
		<i>1,4</i>	<i>1,1</i>			<i>1,6</i>
	Lys	90,2b	91,7a	*	NS	0,8
pool		<i>0,9</i>	<i>0,9</i>			<i>0,9</i>
	Lys	90,4	91,7			
	Thr	86,8	88,0			
	Met	93,9	94,8			
	Cys	87,6	88,6			
	Trp	84,8	86,6			
	Val	86,9	88,6			
ΣAA	88,7	89,8				

¹MAT : matières azotées totales. Pour les autres acides aminés (AA) que la lysine, DIS obtenue sur le pool des cinq échantillons individuels. ΣAA : calculée à partir des DIS moyennes par acide aminé (AA) et par aliment ; En italique, les écarts-types d'échantillonnage.

²MixF : Mélange Farine ; MixG : Mélange Granulé.

³Analyse de variance avec les effets de la présentation (P) et de la semaine (Sem). NS : $P > 0,05$; * : $P < 0,05$

⁴ETR, CVR : écart-type résiduel et coefficient de variation résiduel pour l'analyse de variance (effet aliment) ; a, b : des lettres différentes indiquent une différence de moyenne à $P < 0,05$ par le test de Tukey.

La DIS de la somme des acides aminés est de 88,7 % et 89,8 % respectivement pour les aliments MixF et MixG. La DIS de la méthionine et de la cystéine augmente numériquement de 1,0 point avec la granulation alors que pour la thréonine, la valine et le tryptophane, l'augmentation (NS) est numériquement un peu plus importante (+1,2 ; +1,7 et +1,9 point).

Les différences entre les DIS MAT et les DIS somme des acides aminés sont de -5,1 et -4,1 points respectivement pour les aliments MixF et MixG.

La granulation améliore donc de façon significative la digestibilité des protéines, reflétant ainsi une amélioration de la valorisation des différents acides aminés, à l'image des résultats obtenus sur la lysine. Néanmoins, la différence reste faible, puisque cette différence est de 2 points entre MixF et MixG pour la DIS MAT et n'est plus que d'1 point sur la DIS somme des acides aminés.

Peu de travaux ont étudié l'effet de la granulation sur la digestibilité iléale. Lahaye *et al.* (2004) ont montré, sur des porcs en croissance, que la granulation tendait à diminuer les pertes endogènes spécifiques, diminution qui ne devient significative que pour une granulation par extrusion. Il y aurait une augmentation de la disponibilité des acides aminés et une réduction du coût métabolique associé à celle des pertes endogènes.

Dans notre essai, la mesure d'endogène a été faite avec un aliment protéoprive présenté en farine ; il n'est donc pas possible de comparer les pertes selon le mode de présentation. Les différences de digestibilité iléale ont davantage été montrées entre différentes finesses de broyage ou entre des procédés thermiques extrêmes que pour une granulation simple. Ainsi, Flies *et al.* (2014) rappelaient qu'avec un aliment plus finement broyé, la digestibilité iléale des protéines et des acides aminés étaient améliorées.

Dans notre cas, il s'agit d'aliments de même granulométrie entre les formes farine et granulée, puisque la moitié de la farine fabriquée a été granulée. Il est cependant possible que le phénomène de granulation ait eu un impact sur la granulométrie et ait réduit la taille des particules.

En mettant en parallèle les résultats de digestibilité fécale et de digestibilité iléale des protéines sur porcs en croissance

(Figure 2), les écarts observés entre les résultats obtenus sur les formes farine et granulée sont équivalents. Que ce soit au niveau fécal ou iléal, la granulation a un effet positif d'au moins deux points sur la valorisation des protéines.

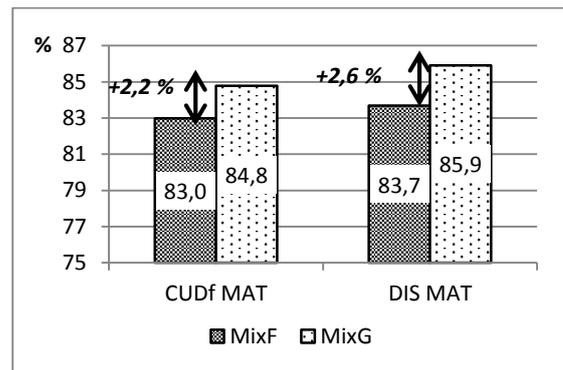


Figure 2 – Digestibilités fécale (CUDf) et iléale (DIS) de la matière azotée totale (MAT) des aliments Mix de trois céréales présentés en farine ou en granulés chez le porc en croissance.

MixF : Mélange Farine ; MixG : Mélange Granulés.

CONCLUSION

La granulation améliore la digestibilité de l'énergie chez le porcelet et encore plus chez le porc en croissance, et donc la teneur en énergie digestible des aliments. Par contre, l'effet significatif sur la valorisation des protéines n'est vérifié qu'en phase de croissance et s'explique par une amélioration de la digestibilité iléale des protéines et de l'ensemble des acides aminés. Pour des aliments à base de céréales, il apparaît que l'effet du procédé varie selon le type de céréale choisi. Ainsi la granulation aura un effet plus significatif sur un aliment à base d'orge que sur des aliments à base de maïs et de blé ou du mélange des trois céréales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ball M.E.E., Magowan E., McCracken K.J., Beattie V.E., Bradford R., Thompson A., Gordon F.J., 2015. An investigation into the effect of dietary particle size and pelleting of diets for finishing pigs. *Livest. Sci.*, 173, 48–54.
- Bertrand G., Chauvel J., Quemeré P., 1977. L'utilisation comparée de 2 présentations et de 3 céréales (orge, blé, maïs) par le porcelet sevré précocement. *Considérations sur l'intérêt de la granulation. Bulletin ITP*, 6, 27-38.
- Fekete J., Castaing J., Lavorel O., Leuillet M., 1983. Utilisation des céréales dans des aliments simples pour porcelets sevrés : comparaison des formes de présentation (farine et granulés). *Journées Rech. Porcine*, 15, 363-376.
- Flies M., Sobotka W., Purwin C., 2014. Effect of feed structure on nutrient digestibility, growth performance, and gastrointestinal tract of pigs – a review. *Ann. Anim. Sci.*, 14, 757–768.
- Gaudré D., Saulnier J., 2014. Comparaison des présentations alimentaires farine et granulés en post-sevrage : interaction avec les conditions d'élevages. *Journées Rech. Porcine*, 46, 85-86.
- Guillou D., Skiba F., Callu P., Pluske J.R., 2007. Grain and plant protein types fed to weaned piglets influence the apparent digestibility of carbohydrates and crude protein when measured at the terminal ileum. *Proceedings of the Eleventh Biennial Conference of the Australasian Pig Science Association, Brisbane, Australia. Manipulating Pig Production XI*.
- Lahaye L., Ganier P., Thibault J.-N., Sève B., 2004. Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 113, 141–156.
- Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Pérez J.M., Henry Y., Giger S., Sauvant D., 1989. Associative effects between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. *Br. J. Nutr.*, 61, 75-87.
- Medel P., Salado S., de Blas J.C., Mateos G.G., 1999. Processed cereals in diets for early-weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 82, 145-156.
- R Development Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Royer E., Granier R., 2015. Comparaison de trois présentations de l'aliment chez le porc charcutier, rationné ou à volonté, en été ou hiver. *Journées Rech. Porcine*, 47, 145-146.
- Skiba F., Noblet J., Callu P., Evrard, J., Melcion J.P., 2002. Influence du type de broyage et de la granulation sur la valeur énergétique de la graine de colza chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 34, 67-73.
- Wondra K.J., Handcock J.D., Behnke K.C., Hines R.H., Stark C.R., 1995. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 73, 757-763.