

Effet du tourteau de colza enrichi en protéine, des conditions de granulation et de l'incorporation d'enzymes sur les performances zootechniques du porc en croissance

Diego MELO (1a), Eric ROYER (2b), Jonatan DICKOW (3), Lone NIELSEN (4c), Jens-Frisbæk SØRENSEN (4), Thomas OBERHOLZER (5), Anna KREIS (5d), Paul BIKKER (6), Knud-Erik BACH-KNUDSEN (7), Enric ESTEVE-GARCIA (1), Rosil LIZARDO (1)

(1) IRTA, Nutrición Animal, Ctra Reus-el Morell, Km 3.8, 43120 Constantí, Espagne

(2) Ifip-Institut du Porc, 31500 Toulouse, France

(3) Hamlet Protein, Saturnvej, 51, 8700 Horsens, Danemark

(4) Dupont, Edwin Rahrsvej 38, DK-8220 Brabrand, Danemark

(5) Bühler AG, Gupfenstrasse 5, CH-9240 Uzwil, Suisse

(6) Wageningen University & Research, De Elst 1, 6708 Wageningen, Pays-Bas

(7) Aarhus University, Blichers Allé 20, Postboks 50, DK-8830 Tjele, Danemark

Adresses actuelles: ^aUNESP, Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Brasil; ^bInstitut de l'Élevage, Castanet-Tolosan, France ; ^cArla Foods Ingredients, Sønderhøj, Danemark ; ^dVerband Thurgauer Landwirtschaft, Weinfelden, Suisse.

rosil.lizarDO@irta.es

Effet du tourteau de colza enrichi en protéines, des conditions de granulation et de l'incorporation d'enzymes sur les performances zootechniques du porc en croissance

L'intérêt pour le porc d'un tourteau de colza enrichi en protéines (PB), des conditions de granulation et de l'incorporation d'enzymes a été évalué dans deux essais de performances zootechniques et de digestibilité. Dans l'essai 1, six traitements alimentaires à base de tourteau de colza témoin ou enrichi en protéines par un procédé biologique (PB₁) et incorporant ou non des enzymes (témoin, protéases et protéases plus NSPases) ont été utilisés. Dans l'essai 2, huit traitements correspondant à deux tourteaux de colza témoin ou enrichi en protéine par fractionnement (PB₂), l'emploi de deux filières de granulation (4x40 et 4x60 mm), avec ou sans utilisation de vapeur ont été appliqués. Dans chaque essai, 144 porcs logés à deux par case ont été utilisés et des échantillons de fèces ont été récoltés afin de déterminer la digestibilité. La source de colza utilisée dans l'essai 1 n'a pas affecté la croissance, le PV ou la digestibilité ($P > 0,05$). Cependant, les porcs ayant reçu les régimes avec du colza PB₁ ont consommé moins d'aliment ($P < 0,01$) et présentaient un meilleur indice de consommation (IC ; $P < 0,01$). L'utilisation d'enzymes n'a pas eu d'effet sur les performances ou la digestibilité ($P > 0,05$). Dans l'essai 2, le colza PB₂, ainsi que la filière 4x60 mm ont amélioré la croissance, le poids vif (PV) final ($P < 0,01$) et l'IC ($P < 0,05$). L'utilisation de vapeur a entraîné une réduction de l'ingéré ($P < 0,05$) conduisant à une amélioration de l'IC ($P < 0,001$). En général, la digestibilité des nutriments dans cet essai dépend de la source de colza ($P < 0,001$). En conclusion, le tourteau de colza enrichi en protéines, que ce soit par un procédé biologique ou par fractionnement, pourrait présenter un intérêt majeur pour l'alimentation du porc.

Influence of high-protein rapeseed meal, feed pelleting conditions and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility of pigs

A process was developed to increase the protein content of rapeseed meal (RSM), which is more attractive for animal feeding in the European Union (EU), and the aim of the present study was to investigate the influence of RSM in combination with enzyme supplementation or pelleting conditions (die size and steam) of the growing pig's diet on productive parameters and nutrient digestibility. In trial 1, a 2x3 factorial design with 6 diets that contained conventional (35% CP) or high-protein (40% CP) RSM combined with supplementation with proteases or proteases plus NSPases enzymes was used. In trial 2, a 2x2x2 factorial design that resulted from combining two RSM, two pelleting dies (4x40 or 4x60 mm), with or without steam, was used. In both trials, 144 growing pigs, allocated at two/pen, were used. Trials lasted 6 weeks, and faeces were collected to determine digestibility. Body weight gain was not influenced by the diet (NS) in trial 1. However, feed conversion ratio (FCR) improved ($P < 0.01$), as did fat and phosphorus digestibility, which increased ($P < 0.01$) in pigs fed high-protein RSM diets. Enzyme inclusion did not influence productive or digestibility ($P > 0.05$) parameters. In trial 2, pig weight gain and FCR improved with both high-protein RSM and the long die (4x60 mm). The use of steam also improved FCR but did not influence weight gain. Digestibility of the main nutrient components was improved by high protein RSM, while die size did not influence it. In conclusion, high-protein RSM improves the feed efficiency of growing pigs, and using it can help reduce EU protein imports for animal feeding.

INTRODUCTION

Les importations de tourteau de soja représentent environ 61% des matières premières riches en protéines utilisées par l'alimentation animale dans l'Union Européenne (de Visser *et al.*, 2014). L'augmentation de la production européenne d'oléoprotéagineux, tels que le colza (*Brassica napus L.*) dont l'EU est le premier producteur mondial, pourrait donc aider à réduire la dépendance vis à vis de ces importations. Le tourteau de colza obtenu après extraction de l'huile contient environ 33 % de protéine brute (PB) ayant un profil en acides aminés (AA) équilibré et pourrait donc constituer une alternative au soja dans les aliments pour le porc. Cependant, le tourteau contient également des facteurs antinutritionnels (FAN), tels que les glucosinolates ou les phytates, et un contenu en fibres brutes (FB) assez élevé due à la présence des coques et pellicules (Hansen *et al.*, 2017). Les fibres contiennent une large et complexe variété de polysaccharides non-amylacés (PNAs) connus pour leurs effets négatifs sur l'utilisation des nutriments le long du tractus gastro-intestinal (Ndou *et al.*, 2018). De nouvelles technologies industrielles agissant directement sur les tourteaux sont en développement afin d'augmenter leur concentration en PB tout en réduisant le contenu en FB et d'autres FAN (Bikker *et al.*, 2019). Par ailleurs, l'utilisation d'enzymes dans les aliments pour les animaux est devenue une pratique courante grâce à l'amélioration permise des performances et de la conversion alimentaire tout en réduisant les coûts de production et l'impact environnemental. Ainsi, l'utilisation d'enzymes adéquats (protéases, NSPases) pourrait améliorer la valeur nutritionnelle des tourteaux européens. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'utilisation de tourteaux de graines de colza européennes non OGM, issus de nouveaux procédés technologiques seuls ou avec incorporation d'enzymes dans les régimes et/ou en combinaison avec les conditions de granulation des aliments pour le porc en croissance.

1. MATERIEL ET METHODES

Deux essais ont été réalisés à la Station Expérimentale de l'IRTA (Constantí, Espagne) pour étudier l'effet chez le porc de l'enrichissement en PB du tourteau de colza par un procédé biologique de fermentation (Hamlet Protein A/S, Danemark) ou bien par une technique de séparation par tamisage (Bühler AG, Suisse). Un tourteau d'origine française a été sélectionné (T1) et envoyé à Hamlet Protein pour être traité (C+1 ; Tableau1). Ces deux tourteaux ont été utilisés en combinaison avec des enzymes (DuPont, Danemark) à activité protéase et NSPase dans les régimes de l'essai 1. Dans l'essai 2, un autre tourteau d'origine allemande (T2) a été soumis à un procédé de broyage et tamisage à 300 µm par Bühler AG afin d'obtenir une fraction fine (C+2). Ces deux derniers ont été évalués en comparaison avec différentes conditions de granulation (filière, vapeur et température) des aliments dans l'essai 2. Les quatre tourteaux ont été envoyés à l'usine de fabrication d'aliments de l'IRTA, où ils ont été utilisés pour fabriquer les régimes expérimentaux (Tableau 2) des deux essais.

1.1. Plan expérimental de l'essai 1

De nouvelles enzymes à activité protéase et NSPase ont été préalablement testées *in vitro* (DuPont, Copenhague, Danemark) sur des tourteaux de colza. Sur la base des résultats de solubilisation des protéines du substrat, des protéases (FaG-

004) et un mix de NSPases (FaG-013) ont été sélectionnées afin d'être utilisés *in vivo*. L'essai 1 a été conçu avec six traitements selon un dispositif factoriel 2x3, combinant les deux tourteaux de colza (T1 et C+1) avec l'incorporation d'enzymes (protéases et NSPases) dans les régimes (Tableau 2). Les enzymes à activité protéase (500 IU/kg) ont été incorporées seules dans les régimes ou bien en combinaison avec les NSPases, en plus du régime témoin. Ces enzymes thermolabiles ont été appliqués après granulation par un procédé de pulvérisation sur les granulés. Les aliments ont été formulés selon les besoins en nutriments des porcs entre 25-50 kg PV (NRC, 2012) et pour en avoir le même contenu en énergie nette (2,25 Mcal/kg) et en lysine digestible (8,9 g/kg). Afin de respecter cette équivalence, le tourteau de colza a été incorporé à 24% dans les régimes témoin et le tourteau enrichi l'a été à 22% dans les régimes C+, et des acides aminés de synthèse ont été utilisés pour équilibrer les régimes. Les aliments ont été fabriqués au fur et à mesure des besoins pour nourrir les animaux. De l'oxyde de titane a été incorporé (0,5%) comme marqueur indigestible dans tous les régimes. L'aliment a été distribué à volonté et les restes non consommés ont été retirés et pesés, puis déduits dans les calculs de consommation d'aliment.

Tableau 1 – Composition chimique des tourteaux de colza¹

Composants	T1	C+1	T2	C+2
Matière sèche (MS), %	87,8	94,4	90,2	90,9
Protéine brute (PB), %	38,8	42,7	37,7	44,7
Solubilité PB en KOH, %	38,1	nr	33,4	30,4
Matières grasses, %	3,4	nr	1,9	0,9
Cellulose brute, %	13,7	14,2	14,5	8,1
Glucosinolates, µmol/g	13,7	16,9	10,0	11,5
PNA solubles, % MS ²	nr	nr	12,6	16,9
Lysine, g/100 g MS	nr	nr	20,3	22,0

¹ T1, T2 : tourteaux de colza à 34% PB, C+ : tourteaux enrichis en PB, soit par Hamlet Protein A/S (Essai 1), soit par Bühler A.G. (Essai 2). nr : non recherché
² PNA = polysaccharides non amylacés.

1.2. Plan expérimental de l'essai 2

L'essai a été conçu selon un dispositif factoriel 2x2x2, avec huit traitements correspondant à deux tourteaux de colza (T2 et C+2), deux filières de granulation et l'application (ou pas) de vapeur d'eau durant la granulation. Les deux filières utilisées sont du même diamètre mais de longueur différente (4x40mm vs 4x60 mm). Par ailleurs, l'addition de vapeur induit à une augmentation de la température supérieure à 85°C tandis qu'en son absence la température attend à peine 45°C. Le même taux d'incorporation (22,5%) des tourteaux dans les régimes a été imposé, sans qu'ils soient équilibrés par un apport additionnel d'AA de synthèse. Donc, le contenu en PB et AA était différent selon le tourteau utilisé. Ces aliments ont été distribués à volonté.

1.3. Animaux, logement et mesures

Pour chaque essai, 144 porcs mâles entiers et femelles, croisés Piétrain x (Large White x Landrace) de 27,5±0,6 kg de PV initial ont été utilisés pendant environ six semaines. Ils ont été logés dans une salle de 72 cases, à raison d'un mâle et une femelle par case. Les régimes ont été distribués *ad libitum*. Ils ont été pesés individuellement tandis que la consommation d'aliment a été mesurée par case aux pesées intermédiaire et finale. Pendant la dernière semaine d'essai, des échantillons de fèces par case (>500g) ont été prélevés le matin. Puis, ils ont été homogénéisés et congelés avant d'être séchés à 65°C pendant 72 h. Ensuite, ils ont été analysés pour déterminer leur composition chimique et calculer la digestibilité.

Tableau 2 – Composition centésimale et chimique (mesurée) des régimes selon le tourteau de colza utilisé¹

	Essai 1 ²		Essai 2	
	T1	C+1	T2	C+2
Ingrédients (g/kg brut)				
Maïs	130,1	85,8	234,5	234,5
Orge	200,0	200,0	225,0	225,0
Blé	136,5	213,5	220,0	220,0
Tourteaux de colza	240,0	219,7	225,0	225,0
Autres sous-produits ³	214,2	200,0	20,0	20,0
Minéraux/Vitamines ⁴	30,9	31,7	28,1	28,1
Autres ⁵	48,3	49,3	47,4	47,4
Composition chimique				
Energie, Mcal EM/kg	3,248	3,255	3,214	3,202
Matière sèche, g/kg	902,2	906,5	904,0	903,3
Protéine brute, g/kg	148,7	156,6	156,4	151,1
Matières grasses, g/kg	53,5	49,6	66,3	65,0
Cellulose brute, g/kg	37,7	37,4	34,9	39,5
Cendres brutes, g/kg	49,3	50,3	51,1	50,1
Calcium, g/kg	7,3	7,7	6,7	6,8
Phosphore, g/kg	5,4	5,6	6,5	6,2
NDF, g/kg	nr	nr	145,7	154,4
ADF, g/kg	nr	nr	73,3	82,4
Lysine, g/kg	nr	nr	10,3	10,0
Thréonine, g/kg	nr	nr	6,2	6,0
Méthionine, g/kg	nr	nr	3,1	3,0
Valine, g/kg	nr	nr	6,0	5,8
PNA, g/kg	115,7	115,0	nr	nr
Arabinose, %	13,5	13,5	nr	nr
Xylose, %	19,8	20,2	nr	nr
Mannose, %	13,8	15,1	nr	nr
Galactose, %	7,1	6,9	nr	nr
Glucose, %	45,8	44,3	nr	nr

¹ Voir Tableau 1.² Enzymes (Dupont, Denmark): protéases FAG-004 66 g/Ton, équivalent à 500 UI/kg ; protéases FAG-004, 66 g/Ton + NSPases FAG-013, 250 g/Ton.³ Inclut brisures de riz, amidon de blé et 10kg de tourteau de soja utilisés dans le prémélange de micro-ingrédients, minéraux, vitamines et autres.⁴ En plus du prémix de vitamines et minéraux, sel, bicarbonate de Na, carbonate de Ca, phosphate bicalcique, oxyde de titane et AA synthétiques (L-lysine, DL-méthionine, L-thréonine, L-tryptophane et L-Valine).⁵ Inclut la graisse animale, la solution pour application des enzymes de l'essai 1 et l'antioxydant Noxyfeed (BHT, BHA, propylgallate).

1.4. Analyses de laboratoire et statistique

Les fractions brutes, grossières et fines des tourteaux de colza ont été analysées pour la teneur en composants proches, AA (Hulshof *et al.*, 2016), glucosinolates et composants en fibres alimentaires (Bach Knudsen, 1997). Des sous-échantillons ont été prélevés dans les trois fractions pour les analyses décrites ci-dessus. Les fractions brute et fine ont été stockées pour l'évaluation ultérieure *in vivo*.

L'analyse des teneurs en matière sèche (MS), cendres brutes, PB, FB, matières grasses (MG) et énergie brute (EB) a été effectuée selon les procédures classiques (AOAC, 2000) aux laboratoires de WUR pour les tourteaux et de l'IRTA pour les aliments et des fèces. Les fibres au détergent neutre (NDF), au détergent acide (ADF) et la lignine ont été déterminées selon la méthode de van Soest *et al.* (1991) et les PNAs selon la méthode de Englyst *et al.* (1994). Les teneurs en glucosinolates ont été déterminées par Terres Innovia (Ardon, France).

La concentration en Ca et phosphore a été déterminée par spectrométrie de masses (ICP-MS, LC Agilent 1290 Infinity). Les AA ont été analysés par HPLC à partir des hydrolysats issus d'hydrolyse acide des protéines par dérivation en pré-colonne avec de l'ophtalaldéhyde pour les AA primaires, et du 9-fluorénylméthyl chloroformate pour les AA secondaires. La qualité des granulés des régimes de l'essai 2 a été évaluée par l'index de durabilité à l'usine de fabrication des aliments. La digestibilité fécale (CUDa) a été calculée à partir de la concentration du marqueur et de chaque nutriment, à la fois dans les aliments et dans les fèces (Adeola, 2001).

Toutes les données ont été analysées avec la procédure GLM (SAS 9.4, SAS Inst., Cary, NC), en utilisant, la case ou le groupe d'animaux logés ensemble comme unité expérimentale. Dans l'essai 1, le modèle prend en compte les effets fixes du tourteau de colza, de l'incorporation d'enzymes et l'interaction, ainsi que le bloc de n cases constitué sur la base du PV. Dans l'essai 2, un modèle factoriel 2x2x2 intégrant le tourteau de colza, la filière de granulation, l'utilisation de vapeur d'eau, ainsi que les interactions entre ces facteurs, en plus du bloc a été utilisé. La comparaison des moyennes des traitements a été effectuée selon un test de Student-Newman-Keuls.

2. RESULTATS

2.1. Composition des tourteaux

Le traitement biologique du tourteau de colza s'est traduit par une augmentation de la teneur en protéines de 4 points (Tableau 1). Pour les glucosinolates, une teneur totale de 16,9 µmol / g MS (soit 15,9 µmol / g brut) a été trouvée dans le C+1 avec la méthode HPLC par le laboratoire Terres Innovia. La valeur initialement déterminée dans le tourteau T1 était de 13,7±2,7 µmol / g brut avec une méthode enzymatique. Puisque deux laboratoires et des méthodes différents étaient impliqués, les valeurs ne peuvent être comparées. La fraction fine issue du tamisage (C+2) représente 14,5 % du poids total du tourteau T2. La teneur en PB est augmentée de 70 g/kg de MS dans la fraction fine ce qui se traduit par une augmentation de la concentration en AA (Tableau 1).

2.2. Essai 1

Lors de l'essai 1, les performances moyennes des porcs correspondent à une consommation d'aliment (CMJ) de 1,62 kg/j et un gain moyen quotidien (GMQ) de 768 g/j, se traduisant par un indice de consommation (IC) de 2,12 entre 40 et 65 kg PV (Tableau 3). Aucune différence de GMQ ou de PV n'est due à l'effet du tourteau de colza ou de l'utilisation d'enzymes ($P > 0,05$), ou bien à l'interaction entre ces facteurs ($P > 0,05$). En revanche, les porcs nourris avec les régimes contenant du tourteau C+1 ont consommé 70 g/j de moins ($P < 0,01$), entraînant ainsi une réduction de 100 g de l'IC ($P < 0,002$) par rapport à ceux nourris avec le tourteau T1. Les CUDa de la MO, l'énergie, la PB ou les PNAs ne sont pas affectés par le type de tourteau ou l'inclusion d'enzymes dans les régimes ($P > 0,05$). Cependant, les CUDa des MG ($P = 0,06$) et du phosphore ($P < 0,05$) sont affectés par le type de tourteau utilisé, en particulier pour les animaux nourris avec les régimes sans enzymes ce qui expliquerait l'interaction significative observée ($P < 0,05$). En général, l'utilisation d'enzymes n'influence aucun des paramètres de digestibilité évalués.

Tableau 3 – Influence du tourteau de colza conventionnel (T1) et enrichi en PB (C+1) supplémentés avec des enzymes exogènes (protéases, protéases+NSPases) sur les performances zootechniques et la digestibilité des nutriments chez le porc (essai 1)

	Tourteau de colza ¹		Enzymes			Analyse statistique ²			
	T1	C+1	Sans	Prt	Prt+NSP	Colza	Enz	Colza x Enz	ETR
PV initial, kg	38,9	38,9	38,8	38,0	39,1	0,97	0,75	0,62	1,71
CMJ, kg/j	1,66	1,59	1,62	1,63	1,62	0,01	0,89	0,71	0,12
GMQ, g/j	767	769	757	779	768	0,92	0,60	0,97	78,1
IC	2,17	2,07	2,15	2,10	2,11	0,01	0,36	0,79	0,12
PV final (39j), kg	65,7	65,8	65,2	66,8	66,0	0,93	0,67	0,88	3,54
Digestibilité (CUDa)									
Matière organique, %	86,4	86,3	86,2	86,3	86,4	0,71	0,91	0,11	1,19
Energie, %	85,3	85,1	85,1	85,2	85,3	0,57	0,95	0,08	1,31
Protéine brute, %	82,9	82,3	82,4	82,7	82,8	0,25	0,76	0,11	2,11
Matières grasses, %	80,4	81,5	80,7	81,0	81,1	0,06	0,85	0,03	2,39
Fibre brute, %	39,9	39,2	39,9	39,4	39,4	0,58	0,92	0,36	5,19
Calcium, %	46,4	48,2	46,0	47,7	48,1	0,17	0,37	0,01	5,13
Phosphore, %	42,0	47,4	44,5	45,0	44,6	0,001	0,91	0,03	4,24
PNA, %	65,2	64,2	65,4	64,3	64,4	0,29	0,62	0,54	3,86
Arabinose, %	74,7	73,2	74,5	73,3	74,0	0,04	0,38	0,54	2,90
Xylose, %	54,9	55,6	55,8	54,5	55,6	0,63	0,73	0,71	5,67
Mannose, %	87,7	87,4	87,9	87,5	87,3	0,48	0,49	0,34	1,67
Galactose, %	71,1	70,9	71,6	70,3	71,1	0,80	0,47	0,14	3,42
Glucose, %	58,1	56,4	58,1	56,7	56,8	0,15	0,54	0,22	4,69

¹ T1 : régime avec un tourteau de colza à 35% PB ; C+1 : régime incluant le tourteau de colza traité (Hamlet Protein A/S, Danemark) par un procédé biologique (>40% protéines brutes). Sans : sans enzymes ajoutés ; Prt : avec protéases (FaG-004, DuPont, Danemark) ; Prt+NSP : régimes avec protéases (FaG-004) et NSPases (FaG-013, DuPont, Danemark), PV : poids vif, CMJ : consommation moyenne journalière, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de consommation.

² Analyse de la variance incluant les effets fixes du type de tourteau de colza, de l'inclusion d'enzymes (Enz) et de l'interaction entre eux (Colza x Enz); ETR : écart-type résiduel ; a, b : les moyennes par ligne affectées d'une lettre différente sont significativement différentes ($P < 0,05$).

2.3. Essai 2

L'indice de durabilité des granulés est présenté au tableau 4. L'utilisation du tourteau C+2 semble permettre une meilleure qualité (40,0 vs 69,4%), en relation avec une moindre proportion de particules grossières ou de fibres dans le régime correspondant. Par ailleurs, la vapeur d'eau améliore très clairement la qualité des granulés (25,8 vs 87,3%). Sans recours à la vapeur, la qualité des granulés est très basse et, avec la manipulation, ils se transforment en farine. Cet effet s'observe avec les deux filières de granulation. Cependant, sur l'ensemble des huit régimes, il semble que la filière plus longue tende à améliorer la qualité des granulés (51,7 vs 61,4%).

L'influence des régimes et des conditions de granulation sur les performances est présentée au tableau 4. En moyenne, les porcs ont un GMQ de 734 g/j, une CMJ de 1,55 kg/j et un IC de 2,14. A l'exception de l'interaction entre l'application de vapeur et la longueur de la filière sur l'IC ($P < 0,05$), les interactions entre facteurs n'affectent pas les performances zootechniques. En revanche, l'utilisation du tourteau C+2 augmente significativement le GMQ de 704 à 763 g/j ($P < 0,01$) et en conséquence, le PV final de 62,0 à 65,0 kg ($P < 0,01$). La CMJ n'est pas modifiée par le type de colza (NS) et donc l'IC est nettement amélioré pour les porcs recevant le colza C+2 ($P < 0,001$). La longueur de la filière influence également le GMQ, le PV et l'IC ($P < 0,01$). Les porcs nourris avec les granulés de la filière longue ont une croissance plus rapide et un meilleur IC. Par ailleurs, ceux nourris avec les granulés produits avec de la vapeur ont le même GMQ (NS) avec une moindre CMJ ($P < 0,03$), et donc, un meilleur IC ($P < 0,001$).

La digestibilité (CUDa) des principaux nutriments augmente ($P < 0,01$) avec l'utilisation du tourteau C+2 (Tableau 4) même si le CUDa du phosphore diminue ($P < 0,01$). La longueur de la filière, au contraire, n'a aucun effet sur la digestibilité (NS)

tandis que l'application de vapeur réduit les CUDa de MO, énergie, PB et MG. La digestibilité des fibres ou des minéraux n'est pas affectée par l'utilisation de la vapeur. Une interaction entre le type de tourteau et la longueur de la filière sur la digestibilité de MO, PB, NDF, ADF, Ca et P ($P < 0,05$) est également observée : les CUDa augmentent avec le tourteau C+2 mais uniquement avec la filière longue. L'interaction entre le type de tourteau et l'application de vapeur, ou l'interaction entre la filière et l'application de vapeur, sont significatives uniquement pour le CUDa du Ca et du phosphore ($P < 0,05$), les autres critères n'étant pas affectés.

3. DISCUSSION

Le tourteau de colza contient moins de PB et plus de fibres que le tourteau de soja. Une augmentation de la PB pourrait rendre le tourteau de colza plus intéressant pour l'alimentation animale et aider à réduire les importations de soja. Le procédé biologique se base sur une fermentation à l'état solide où les microorganismes produisent des enzymes, lesquelles à leur tour hydrolysent les substrats en libérant des peptides et AA, du phosphore ou en transformant les glucides complexes en oligosaccharides. Une fermentation du tourteau de colza avec des souches de *Rhizopus oligosporus* durant 10 jours augmente de 27,1 à 44,8% la PB, tout en réduisant les contenus de fibres, phytates et glucosinolates de 12,5, 2,9 et 6,3% à 9,3, 1,7 et 3,6%, respectivement (Vig et Walia, 2001). Le tourteau de colza utilisé dans l'essai 1 avait des caractéristiques similaires à celui utilisé par ces auteurs sauf pour le taux de glucosinolates, lequel était plus élevé. Le goût amer qu'entraînent les glucosinolates pourrait donc avoir contribué à la réduction de la CMJ observée pour les régimes à base de tourteau de colza amélioré. Le GMQ n'étant pas affecté par des faibles taux de glucosinolates (Woyengo *et al.*, 2016), cela conduirait donc à l'amélioration de

l'IC. L'incorporation d'enzymes dans les régimes amène à supposer que plus de nutriments seraient disponibles pour l'animal. Les protéases et NSPases utilisées ont été présélectionnées pour le tourteau de colza. Cependant, les régimes se composent d'un mélange de matières premières et le tourteau a été incorporé à moins de 25%. Dans l'essai 1, la digestibilité des nutriments n'est de façon générale que peu affectée par les régimes. L'absence d'effet des protéases sur le CUDa de la PB pourrait être une conséquence du fait d'avoir comparé des régimes formulés pour en avoir un similaire contenu en PB et AA digestibles et sans *a priori* un effet éventuel des enzymes. Par ailleurs, le pancréas, voire l'intestin grêle sécrètent déjà assez d'enzymes pour hydrolyser tous les substrats, en particulier les protéines ou polypeptides, à la

différence du porcelet en post-sevrage. Enfin, l'efficacité de l'utilisation des NSPases dépend de la structure et du degré de lignification des fibres. On peut donc supposer qu'aussi bien le procédé biologique que l'inclusion des enzymes exogènes auraient l'effet de faciliter l'accès aux substrats, ce qui expliquerait l'amélioration du CUDa du P de tous les régimes par rapport au régime témoin sans enzymes. La tendance de réduction du CUDa de la MG du régime témoin sans enzymes, pourrait indiquer moins d'énergie pour le métabolisme, entraînant une augmentation de la CMJ, comme il a été observé. La combinaison de ces deux effets pourrait donc expliquer l'amélioration de l'IC observé avec le tourteau de colza enrichi en PB.

Tableau 4 –Influence du type de tourteau de colza, de la filière de granulation ou de l'application vapeur d'eau sur la durabilité des granulés, les performances zootechniques et la digestibilité (CUDa) des nutriments chez le porc en croissance

Traitements ¹	Tourteau de colza		Filière		Vapeur d'eau		Analyse statistique ^{2,3}			
	T2	C+2	4x40mm	4x60mm	Sans	Avec	Colza	Filière	Vapeur	ETR
Durabilité, %	40,0	69,4	51,7	61,4	25,8	87,3	-	-	-	-
PV initial, kg	27,5	27,6	27,6	27,5	27,5	27,6	0,65	0,52	0,83	0,60
CMJ, kg/j	1,55	1,54	1,52	1,57	1,58	1,51	0,98	0,14	0,03	0,15
GMQ, g/j	704	763	707	760	730	737	0,003	0,006	0,71	79,0
IC	2,20	2,03	2,16	2,07	2,18	2,052	0,001	0,002	0,001	0,11
PV final (j49)	62,0	65,0	62,2	64,8	63,3	63,7	0,002	0,01	0,69	4,02
Digestibilité (CUDa)										
Matière organique, %	86,0	87,8	86,9	86,9	87,3	86,5	0,001	0,90	0,007	1,15
Energie, %	84,6	86,4	85,5	85,6	86,1	85,0	0,001	0,68	0,001	1,28
Protéine brute, %	78,4	80,5	79,4	79,4	80,4	78,4	0,001	0,99	0,001	2,12
Matières grasses, %	84,7	86,3	85,3	85,6	86,8	84,2	0,012	0,63	0,001	2,47
NDF, %	62,0	64,7	63,2	63,3	63,0	63,5	0,005	0,94	0,59	3,15
ADF, %	50,0	58,0	54,3	53,7	54,7	53,3	0,001	0,65	0,29	5,72
Phosphore, %	42,4	39,7	41,9	40,2	40,9	41,3	0,01	0,06	0,66	3,74
Calcium, %	45,2	44,3	44,5	45,0	43,9	45,6	0,43	0,66	0,14	4,71
Lysine, %	88,5	90,2	89,5	89,2	89,6	89,1	0,002	0,52	0,32	2,26

¹ T2 : régime avec du tourteau de colza à 35% PB (Bungi, France); C+2: régime ayant du tourteau de colza traité (Bühler AG, Suisse) par tamisage (>40% PB). Sans/Avec: régimes sans ou avec application de vapeur d'eau durant la granulation ; ETR: écart-type résiduel du modèle.

² Pour les performances, l'interaction entre la filière et la vapeur est significative pour l'IC ($P<0,05$) tandis que les autres interactions sont NS.

³ Pour la digestibilité, l'interaction entre le tourteau et la filière est significative pour le CUDa de la MO, PB, NDF, ADF, Ca et P ($P<0,05$); L'interaction entre l'application de vapeur et le tourteau ou la filière sont significatives pour le CUDa du Ca et du P ($P<0,05$) et NS pour les autres paramètres; L'interaction triple est uniquement significative pour le CUDa du phosphore ($P<0,05$).

Le fractionnement mécanique (broyage, tamisage, séparation par air, classement) du tourteau conduit à l'obtention d'une fraction de farine fine à contenu élevé en PB et faible en FB, ainsi qu'une autre fraction grossière ayant moins de PB et plus de FB (Hansen *et al.*, 2017). Cette farine fine est celle qui correspond au tourteau C+2 utilisé dans l'essai 2. Malgré la différence de teneur en PB, les tourteaux ont été incorporés au même taux dans les régimes et sans aucun ajustement de l'apport d'AA. Les régimes avec le tourteau traité avaient donc un contenu en PB et AA digestibles plus élevé ce qui pourrait expliquer l'amélioration des performances observée. Cependant, l'amélioration de la digestibilité des nutriments semble indiquer aussi une amélioration de la valeur nutritionnelle qui pourrait être liée à la réduction de la teneur en fibres. L'utilisation d'aliments granulés réduit la ségrégation d'ingrédients, voire de nutriments et le gaspillage (van der Poel *et al.*, 2018). Lors de la granulation, l'application de vapeur réduit la friction et facilite la compression pendant la traversée de la filière, et améliore la qualité des granulés tout en réduisant la consommation énergétique et le coût de production (van der Poel *et al.*, 2018). Différentes filières et conditions (vapeur, température) peuvent être appliquées pour fabriquer les

granulés et la montée en température ainsi que les forces de cisaillement résultantes peuvent affecter la digestibilité ou les performances zootechniques. Les matières premières contiennent des structures chimiques complexes, en particulier des fractions fibreuses, lesquelles peuvent motiver un changement des conditions de granulation et donc conditionner la réponse des animaux (Liu *et al.*, 2016). Par ailleurs, les bénéfices de la granulation sur l'efficacité alimentaire peuvent se réduire, voire disparaître, si la qualité des granulés est mauvaise ou si plus de 25% de fines sont présentes (Wondra *et al.*, 1995). Dans l'essai 2, la qualité des granulés produits sans vapeur était très mauvaise, la quantité de fines trop élevée entraînant un risque élevé de gaspillage d'aliment. Par ailleurs, il semblerait que la taille des particules de la farine peut également favoriser leur adhésion ou leur agglomération pendant la granulation. Or, le tourteau de colza C+2 est issu de la séparation par tamisage des différentes fractions et contient plus de particules de plus petite taille, ce qui aurait facilité la granulation et l'amélioration de l'index de durabilité des granulés des régimes correspondants. La qualité des granulés issus de la filière plus longue a entraîné une meilleure efficacité alimentaire mais cet effet n'est pas associé

avec une meilleure digestibilité des nutriments. En l'absence d'un tel effet et en dépit de la surveillance des animaux pendant l'essai, on peut supposer que le gaspillage des granulés serait moindre avec des aliments fabriqués avec des filières plus longues. Par ailleurs, un effet similaire pourrait être soupçonné pour les régimes pressés avec de la vapeur puisque la CMJ et l'IC ont diminué sans que le GMQ soit affecté. En outre, on a pu observer une diminution de la digestibilité avec la vapeur. Si bien, cet effet était inattendu il pourrait être en relation avec des températures élevées et le risque de destruction ou transformation de certains nutriments. Par ailleurs, le moindre gaspillage d'aliment pourrait être donc l'une des causes de l'amélioration de l'efficacité des aliments avec vapeur puisqu'habituellement les granulés compacts et bien formés, améliorent l'IC (Wondra *et al.*, 1995). Si l'amélioration de l'IC résulte de la diminution du pourcentage de fines et donc du gaspillage, cet essai confirme l'importance de la vapeur pour réussir une bonne agglomération des particules. Les conditions appliquées (chaleur, humidité, cisaillement et pression) au mélange d'ingrédients lors de la granulation entraînent également un changement de la structure des protéines (Salazar-Villanea *et al.*, 2016) alors qu'une réduction du contenu en fibres peut augmenter la digestibilité de la PB et/ou des AA (Hansen *et al.*, 2017). Même si la longueur de la filière n'a pas influencé la digestibilité, les granulés issus des régimes incorporant le tourteau enrichi en PB et avec moins de fibres ont un meilleur CUDa de la MS, MO ou PB, voire des AA. Le décorticage ou le fractionnement, en augmentant la teneur PB et réduisant celle en fibres, entraîne habituellement une amélioration de la digestibilité de la MS ou la PB (Hansen *et al.*, 2017). En revanche, l'augmentation du contenu en fibres des régimes peut entraîner une réduction de la digestibilité des nutriments et donc, de l'énergie disponible pour la croissance ce qui aurait un effet sur l'efficacité alimentaire.

Dans cette étude, les régimes avec le tourteau de colza enrichi en PB contiennent moins de fibres ce qui s'est traduit par une amélioration des CUDa de ces fractions. Cependant, on n'a pas observé d'effet des conditions de granulation sur les CUDa des fibres (résultats non présentés), ce qui est en total accord avec van der Poel *et al.* (2018).

CONCLUSION

L'enrichissement en PB du tourteau de colza par un procédé biologique ou par tamisage conduit à une amélioration des performances zootechniques et de l'utilisation digestive des nutriments chez le porc. L'incorporation de nouvelles enzymes dans les régimes n'a pas permis d'améliorer les performances, voire la digestibilité. Aussi, il semblerait que d'autres études doivent être réalisées, soit avec d'autres enzymes similaires soit par l'incorporation d'enzymes similaires à des régimes de valeur nutritionnelle plus limitée. Les conditions de granulation des aliments s'avèrent fondamentales pour produire des granulés de qualité, lesquels à leur tour améliorent les performances zootechniques. Il apparaît que l'incorporation du tourteau de colza enrichi en PB à des régimes granulés avec de la vapeur sur des filières plus longues pourrait contribuer à obtenir les meilleures performances. Au regard de ces résultats, il est possible de conclure sur l'intérêt de tels nouveaux tourteaux de colza enrichis en PB pour l'alimentation porcine afin de réduire la dépendance vis-à-vis des importations de soja.

REMERCIEMENTS

L'étude a été réalisée dans le cadre du projet Feed-a-Gene financé par le programme H2020 de l'Union européenne (n° accord 633631).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adeola O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In "Swine Nutrition", A.J. Lewis, L.L. Southern (Eds.), CRC Press, 2nd Edition, 903-916.
- AOAC, 2000. Official methods of analysis. 17th Ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.
- Bach Knudsen K.E., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. Anim. Feed Sci. Technol., 67, 319-338.
- Bikker P., Kreis A., Oberholzer T., Royer E., Bach-Knudsen E., 2019. Fractionation as a method to improve nutritional value of rapeseed meal. Proceedings of 6th EAAP-ISEP Symposium, 9-12 Septembre, Belo Horizonte, Brasil.
- de Visser C.L.M., Schreuder R., Stoddard F., 2014. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. OCL – Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 21, D407.
- Englyst H.N., Quigley E., Hudson J., 1994. Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. Analyst, 119, 1497–1509.
- Hansen J.Ø., Skrede A., Mydland L.T., Øverland M., 2017. Fractionation of rapeseed meal by milling, sieving and air classification — Effect on crude protein, amino acids and fiber content and digestibility. Anim. Feed Sci. Technol., 230, 143–153.
- Hulshof T.G., Bikker P., van der Poel A.F.B., Hendriks W.H., 2016. Assessment of protein quality of soybean meal and 00-rapeseed meal in the presence of lignosulfonate by amino acid digestibility in growing pigs and Maillard reaction products. J. Anim. Sci., 94, 1–11.
- Liu Y., Jaworski N.W., Rojas O.J., Stein H.H., 2016. Energy concentration and amino acid digestibility in high protein canola meal, conventional canola meal, and in soybean meal fed to growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 212, 52–62.
- Ndou S.P., Kiarie E., Walsh M., Nyachoti C.M., 2018. Nutritive value of flaxseed meal fed to growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 238, 123-129.
- NRC, 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th edition, National Academy Press, Washington D.C., 400 pp.
- Salazar-Villanea S., Hendriks W.H., Bruininx E.M.A.M., Gruppen H., van der Poel A.F.B., 2016. Protein structural changes during processing of vegetable feed ingredients used in swine diets: implications for nutritional value. Nutr. Res. Rev., 29, 126–141.
- van der Poel A.F.B., de Vries G., Bosch G., 2018. Feed Processing. In: "Feed Evaluation Science". P.J. Moughan, W.H. Hendriks (Eds.), Wageningen Academic Publisher, The Netherlands, 1st Edition, 295–336.
- van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci., 74, 3583-3597.
- Vig A.P., Wallia A., 2001. Beneficial effects of *Rhizopus oligosporus* fermentation on reduction of glucosinolates, fibre, and phytic acid in rapeseed (*Brassica napus*) meal. BioResour. Technol., 78, 309–312.
- Wondra K.J., Hancock 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.
- Woyengo T.A., Sánchez J.E., Beltranena E., Cervantes M., Morales A., Zijlstra R.T., 2016. Nutrient digestibility of canola co-products for grower pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 222, 7–16.