

Utilisation et valeur énergétique du glycérol chez le porc en croissance

Didier GAUDRÉ (1), Yolande JAGUELIN (2), Serge DUBOIS (2), Robert GRANIER (3), Corinne PEYRONNET (4), Jean NOBLET (2)

(1, 2) Unité Mixte Technologique Ingénierie des systèmes de production porcine

(1) IFIP, La Motte au Vicomte B.P. 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

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

(3) IFIP, Les Cabrières, 12200 Villefranche de Rouergue, France

(4) ONIDOL, 12 Avenue George V, 75008 Paris, France

didier.gaudre@ifip.asso.fr

Avec la collaboration de Georges GUILLEMOIS (2), Régis JANVIER (2), Francis LE GOUEVEC (2), Anne PASQUIER (2)
et du personnel technique du G.I.E Villefranche Grand Sud (3)

Utilisation et valeur énergétique du glycérol chez le porc en croissance

Le glycérol est un coproduit de la production de biodiesel à partir de corps gras dont la disponibilité pour la nutrition des animaux s'accroît. Cette étude vise à déterminer la valeur nutritionnelle et les conditions d'utilisation de cette matière première dans l'alimentation du porc en croissance. Dans une première expérience, les teneurs en énergies digestible (ED) et métabolisable (EM) du glycérol pur (99%) et l'excrétion urinaire de glycérol pour des taux d'incorporation croissants de glycérol dans l'aliment (3, 6, 9 et 12%) sont évaluées. Les pertes urinaires de glycérol deviennent importantes aux taux de 9 et 12% et représentent alors 12 et 24% des quantités ingérées. Dans ces conditions, si l'utilisation digestive de l'énergie du glycérol est proche de 95% (soit une valeur ED de 16,8 MJ par kg) et indépendante de la quantité ingérée, la teneur en EM estimée à 16,6 MJ par kg décroît à partir d'une quantité journalière de glycérol ingérée estimée à 3 g par kg de poids vif et par jour. Dans un deuxième essai, la teneur en énergie nette (EN) du glycérol pur a été mesurée en chambres respiratoires à un taux d'incorporation de 7,5% correspondant à une excrétion urinaire faible. Enfin, dans une troisième expérience, la teneur en EN ainsi déterminée (13,3 MJ/kg de matière sèche) est utilisée pour comparer les performances zootechniques de porcs en engraissement et leurs caractéristiques de carcasse en fonction de 4 taux d'incorporation de glycérol (82,5% de glycérol). Il n'y a pas de différence significative entre les traitements à l'exception d'une baisse (3%) de la vitesse de croissance, entre 30 et 70 kg de poids vif, des porcs recevant les régimes contenant 4 et 6% de glycérol.

Energy value and use of glycerol for growing pigs

Glycerol is a by-product of biodiesel production from fat sources whose availability is increasing. The objectives of the present study were to determine the nutritive value and the conditions of its use for growing pigs. In a first trial, digestible (DE) and metabolizable (ME) energy of crude glycerol (99%) and glycerol urine content were assessed with increased levels of glycerol in the diet (3, 6, 9 and 12%). Urinary excretion of glycerol became high at 9 and 12% inclusion rate and represented 12 and 24% of glycerol intake respectively. Therefore, while glycerol digestive utilization was high (95%; DE = 16.8 MJ per kg) irrespective of diet level, ME (16.6 MJ per kg) decreased when the daily intake of glycerol exceeded 3 g per kg bodyweight and per day. Net energy (NE) value of crude glycerol was estimated in a second trial in respiratory chambers, with 7.5% glycerol in the diet corresponding to a low urinary excretion. Considering a 13.3 MJ NE/kg dry matter of crude glycerol, 4 levels of glycerol (82.5% glycerol) were compared in 30-115 kg pigs. No significant effect of glycerol level was observed on growth performances and carcass characteristics, except a decrease (3%) of average daily gain between 30 and 70 kg bodyweight in pigs fed with 4 and 6% of glycerol in the diet.

INTRODUCTION

Le glycérol disponible pour l'alimentation animale est principalement issu de la production de biodiesel à partir de corps gras. Cette production se développe en Europe en relation avec la progression de l'usage des agro-carburants. Ainsi, chaque tonne de biodiesel produite est à l'origine d'une centaine de kg de glycérol résiduel. L'utilisation de cette matière première dans les aliments du porc nécessite une évaluation préalable de sa valeur énergétique.

L'utilisation métabolique du glycérol se déroule principalement dans le foie et, dans une moindre mesure, les reins (Mourot *et al.*, 1983). Dans ces organes, sa transformation en glycérol-3-phosphate permet son utilisation pour la production ou le stockage d'énergie.

En conditions habituelles, le glycérol provient de la lipolyse des tissus adipeux, de l'hydrolyse des triglycérides des lipoprotéines du sang et, pour une part limitée, des matières grasses ingérées (Lin, 1977). En cas d'apport alimentaire de glycérol, les capacités d'utilisation du glycérol par les hépatocytes peuvent être dépassées (Tao *et al.*, 1983) ; il y a alors apparition puis augmentation de son excrétion au niveau urinaire (Bartelt et Schneider, 2002).

Trois études conduites en Allemagne (Bartelt et Schneider, 2002) et, plus récemment, aux USA (Lammers *et al.*, 2008a ; Kerr *et al.*, 2009) fournissent des indications sur la valeur nutritionnelle du glycérol. Cependant, les résultats obtenus sont contradictoires sur le plan de la teneur en énergie digestible (ED) ou métabolisable (EM) du glycérol pour le porc en croissance. De plus, elles ne permettent pas de préciser le taux limite d'incorporation à partir duquel l'excrétion urinaire de glycérol chez le porc s'accroît exagérément et rend son utilisation inefficace. Enfin, à notre connaissance, la valeur en énergie nette (EN) du glycérol n'a pas fait l'objet d'estimation. Dans ce contexte, les objectifs de cette étude conduite à l'INRA et à l'IFIP, sont de déterminer chez le porc en croissance en cage de digestibilité, l'évolution de l'excrétion urinaire de glycérol et des teneurs en ED et EM correspondantes pour des apports croissants de glycérol alimentaire (essai 1), de mesurer en chambre respiratoire la teneur en EN du glycérol lorsque l'excrétion urinaire est limitée (essai 2), puis de valider les résultats obtenus au cours d'un essai zootechnique réalisé dans des conditions proches des pratiques d'élevage (essai 3).

1. MATERIEL ET METHODES

Les essais 1 et 2 sont effectués à l'UMR SENAH de l'INRA de Saint-Gilles (35590). L'essai 3 est réalisé à la station du GIE Villefranche Grand Sud, à Villefranche de Rouergue (12200).

1.1. Dispositifs expérimentaux

L'essai 1 est conçu selon un dispositif factoriel dont le principe consiste à incorporer dans un régime contenant 82% de blé, 15% de tourteau de soja et 3% de minéraux et vitamines, des proportions croissantes de glycérol (3, 6, 9 et 12% de glycérol pur) qui remplacent partiellement le mélange de blé et de tourteau de soja. Sur la base du poids vif, 4 blocs de 5 porcs mâles castrés Piétrain × (Large White × Landrace) pesant au début de l'expérience environ 50 kg ($58,4 \pm 1,6$ kg au début de la collecte des excréta) sont constitués. Ces animaux sont logés en cage de digestibilité pour la durée de l'essai. Compte tenu de son caractère hygroscopique, le glycérol est mélangé à l'aliment lors de la préparation des repas.

L'expérience dure 22 jours comprenant 12 jours d'adaptation aux aliments et au mode de logement, et 10 jours de mesure des quantités d'aliment ingéré et de fèces et urines excrétées. L'essai 2 est réalisé sur 6 blocs de 2 frères (ou demi-frères) mâles castrés de même type génétique que dans l'essai 1, pesant environ 45-50 kg au moment de leur mutation dans le bâtiment abritant les chambres respiratoires ($52,8 \pm 2,0$ kg à l'entrée dans la chambre respiratoire).

Un porc du binôme reçoit l'aliment sans glycérol constitué de 80% de blé, 17% de tourteau de soja et 3% de minéraux et de vitamines, et l'autre l'aliment avec 7,5% de glycérol substitué au blé et au tourteau de soja. Ce taux d'incorporation est déterminé en fonction des résultats de l'essai 1 de manière à limiter l'excrétion urinaire de glycérol. Le glycérol est introduit dans l'aliment et granulé avant l'expérience. L'expérience dure 19 jours dont 12 jours d'adaptation à l'aliment et au mode de logement et 7 jours de mesures en chambre respiratoire à une température de 24°C et une hygrométrie de 70%.

Dans les essais 1 et 2, le niveau alimentaire s'accroît régulièrement pendant les phases d'adaptation pour atteindre environ 2,2 kg par jour lors des périodes de mesure.

Dans l'essai 3, 160 porcs à l'engrais (Large White × Piétrain) × (Large White × Landrace) sont utilisés pour comparer 4 taux 0, 2, 4 et 6 % d'incorporation de glycérine (matière sèche : 87% dont 94% de glycérol et 5% de chlorure de sodium) dans l'aliment. L'essai dure 100 jours depuis l'entrée des porcs en engraissement jusqu'au dernier départ à l'abattoir.

La concentration énergétique des aliments est de 9,6 MJ EN par kg. La teneur en lysine digestible par MJ EN est de 0,9 et 0,8 g respectivement en croissance et en finition. Ces valeurs sont établies sur la base de la teneur en EN du glycérol mesurée dans l'essai 2 et en tenant compte de la teneur en glycérol du produit livré (soit 10,5 MJ/kg). En pratique, la glycérine est substituée à une partie des céréales, le déficit en protéines résultant est corrigé par un apport supplémentaire de tourteau de soja. D'autre part, la glycérine contient une teneur résiduelle en sodium (18 g/kg). Les teneurs en sodium des régimes sont égalisées en supposant que la disponibilité du sodium dans la glycérine est de 50% de celle du sodium apporté par le sel. Les porcs sont mis en lots à l'entrée en engraissement en fonction de leur poids vif ($30,3 \pm 1,3$ kg) et de leur sexe et répartis dans 32 cases de 5 animaux.

Quatre blocs de 4 cases de mâles castrés et de 4 cases de femelles sont constitués. Le changement d'aliment est réalisé vers 65 kg de poids vif. La distribution d'aliment est libérale jusqu'à atteindre un plafond de 31 MJ EN par jour.

1.2. Mesures

Dans l'essai 1, les porcs sont pesés au début et à la fin de la collecte des excréta et les échantillons d'aliment, de fèces et d'urines sont conditionnés selon les méthodes habituelles (Noblet *et al.*, 2007). Les teneurs en énergie brute, en matières minérales et en azote de l'aliment de base, du glycérol pur, des fèces et de l'urine sont mesurées. La teneur en glycérol n'est pas détectable dans les fèces et n'est mesurée que sur les urines. Les mesures sur les animaux en chambre respiratoire (essai 2) durent 7 jours. Les porcs sont pesés le matin de l'entrée en chambre respiratoire et à la fin des 6ème et 7ème jours. Pendant les 6 premiers jours, les mesures suivantes sont réalisées : aliment ingéré, quantités de fèces et d'urines excrétées, consommation quotidienne d'oxygène et productions quotidiennes de gaz carbonique et de méthane, heures et durées des repas et activité physique quotidienne.

des porcs. Les porcs sont à jeun le dernier jour pour les mesures d'échanges respiratoires permettant d'estimer la production de chaleur au jeûne. L'ensemble des mesures et calculs effectués est précisé par Barea *et al.* (2010).

Dans l'essai 3,3, les porcs sont pesés toutes les deux semaines. Les quantités d'aliments distribuées par case sont pesées quotidiennement. Les porcs sont abattus en deux lots et les caractéristiques de leurs carcasses sont mesurées à l'abattoir (poids chaud, épaisseurs de muscle M2 et de gras G2).

1.3. Calculs

Les mesures sur animaux complétées par les analyses de laboratoire sur l'aliment et les excréta permettent de calculer les teneurs en ED et EM des régimes (essai 1) ainsi que la quantité de glycérol de l'aliment ingéré et contenue dans les urines. La production de chaleur des porcs et ses composantes (métabolisme de base, activité physique, effet thermique de l'aliment) et les quantités de protéines et de lipides fixées permettent de déterminer la teneur en EN (Barea *et al.*, 2010 ; essai 2). Les données obtenues sur les régimes sont soumises à une analyse de variance (procédure GLM de SAS) avec prise en compte des effets du bloc et du régime. Les coefficients d'utilisation digestive de l'énergie et les valeurs ED, EM et EN du glycérol sont obtenus à l'aide des méthodes par différence et par régression (Noblet *et al.*, 2007). Enfin, la mesure directe du niveau urinaire de glycérol permet d'estimer la capacité d'absorption et d'utilisation du glycérol par le porc.

Dans l'essai 3, les performances zootechniques et les caractéristiques de carcasse sont comparées par analyse de variance (procédure GLM de SAS) en prenant en compte les effets du régime, du bloc et du sexe. Les calculs sont réalisés à partir des données moyennes de chaque case.

En cas d'effet significatif ($P < 0,05$), un test de Tukey est réalisé afin de comparer les performances deux à deux.

2. RESULTATS

La composition des aliments est conforme aux données des protocoles dans les trois essais.

Le niveau de croissance est très satisfaisant et aucun problème sanitaire n'a été constaté dans aucun des essais.

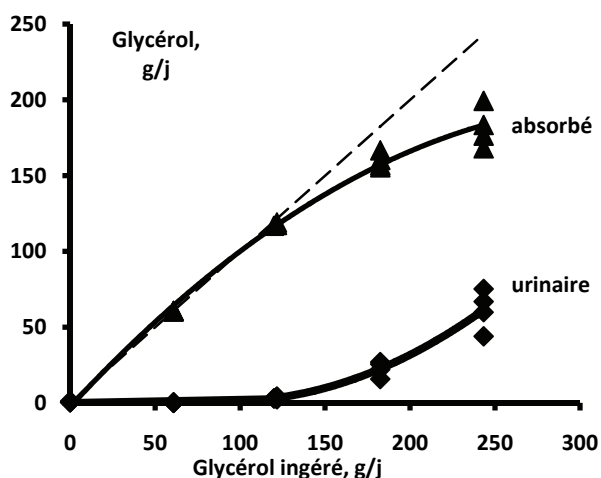


Figure 1 - Evolution de l'absorption et de l'excrétion urinaire de glycérol selon le niveau d'ingestion (essai 1)

Les coefficients de digestibilité des régimes de l'essai 1 sont très élevés (voisins de 90%) et ne diffèrent pas selon le taux d'incorporation de glycérol (données non montrées).

On observe une diminution de la teneur en EM des régimes avec l'augmentation de l'incorporation de glycérol en relation avec l'évolution des pertes urinaires (Figure 1).

Alors que les quantités de glycérol dans les urines sont nulles ou à peine mesurables jusqu'au taux de 6% de glycérol dans l'aliment, elles deviennent importantes aux taux de 9 et 12% et représentent alors respectivement 12 et 24% du glycérol ingéré.

Tableau 1 - Digestibilité fécale et bilan énergétique en fonction du taux de glycérol dans l'aliment (essai 2)

	Régimes ¹		Statistiques ⁴	
	1	2	ETR	Effet
Glycérol, %	0	7,5		
Matière sèche ingérée, g/j	1838	1835	8	B***
Bilan glycérol, g/j				
Ingéré	0	135,8	2,0	R***
Urinaire	0	5,6	2,7	R**
Coefficients de digestibilité, %				
Matière sèche	90,2	90,1	0,5	
Matière organique	91,8	91,7	0,5	
Energie	90,0	89,7	0,5	B*
Energie CH₄, % ED	0,6	0,5	0,1	
EM/ED, %²	95,6	95,8	0,9	
Bilan énergétique, kJ/kg PV^{0,60}				
EM ingérée	2567	2544	59	
Chaleur				
Totale	1427	1408	14	B*
A jeun	848 ³	806	41	
Activité physique	202	188	42	
Effet thermique aliment	402	427	70	
Energie retenue				
Totale	1140	1136	63	
Protéines	374	357	69	
Lipides	766	779	91	
Quotient respiratoire	1,14	1,13	0,02	
Valeurs énergétiques				
ED, MJ/kg MS	16,51	16,36	0,10	B*
EM, MJ/kg MS ²	15,78	15,67	0,11	
EN, MJ/kg MS ³	11,92	11,93	0,20	
EN/EM, % ³	75,6	76,1	0,8	

¹ Données présentées correspondant aux moyennes ajustées.

² Valeur EM calculée avec prise en compte de la production de méthane.

³ EN calculée comme la somme de la chaleur produite à jeun (standardisée à 800 kJ/kg PV^{0,60}) et de l'énergie retenue.

⁴ A partir de l'analyse de variance qui prend en compte l'effet du régime et du bloc ; ETR = écart-type résiduel, R = effet du régime, B = effet du bloc ; niveaux de signification : * : $P < 0,05$, ** : $P < 0,01$, *** : $P < 0,001$.

La digestibilité de l'aliment et le niveau d'excrétion urinaire de glycérol (4% de l'ingéré) mesurés dans l'essai 2 (Tableau 1) sont conformes aux résultats de l'essai 1. Les données de bilan énergétique montrent qu'aucun critère n'est affecté par la présence de 7,5% de glycérol dans l'aliment.

La production de méthane n'est pas non plus affectée par l'incorporation de glycérol dans l'aliment.

Comme pour la digestibilité de l'énergie, ce résultat suggère que l'utilisation métabolique de l'énergie du glycérol est proche de celle du régime de base.

Les valeurs énergétiques du glycérol peuvent être calculées par différence pour les deux essais et également par régression pour l'essai 1 compte tenu de la multiplication des niveaux d'incorporation de glycérol.

Les principaux résultats sont rassemblés dans le tableau 2 en différenciant pour l'essai 1 ce qui est obtenu aux taux de 6% et de 12% de glycérol dans l'aliment.

La méthode par régression qui consiste à prédire les teneurs en énergie brute (EB) et ED de l'aliment (MJ par kg de matière sèche) à partir des contributions du régime de base et du glycérol et sur des bases matière sèche conduit aux deux équations suivantes :

$$EB \text{ aliment} = 17,97 \text{ Régime base} + 17,64 \text{ Glycérol (ETR} = 0,01)$$

$$ED \text{ aliment} = 15,96 \text{ Régime base} + 17,01 \text{ Glycérol (ETR} = 0,10)$$

Compte tenu des pertes urinaires de glycérol, il n'est pas possible d'appliquer la même démarche aux valeurs EM. Le rapport des coefficients obtenus dans les équations ED et EB, tant pour le régime de base que pour le glycérol permet d'estimer les coefficients de digestibilité de l'énergie du régime de base et du glycérol.

Le coefficient pour le régime de base (88,8%) est en toute logique identique à celui trouvé pour le régime ne contenant pas de glycérol (résultat non montré).

Tableau 2 - Valeurs énergétiques du glycérol (essais 1 et 2)

Essai	1			2	Valeurs retenues
	0-6 ¹	0-12 ¹	0-12 ²	0-7,5 ¹	
Glycérol, %					
Coefficients de digestibilité, %					
MO ³	93,1	96,3	96,6	90,6	
Energie	91,7	95,6	96,4	86,4	95,0
Valeurs énergétiques, MJ/kg MS					
EB	17,64	17,64	17,64	17,64	17,6
ED	16,18	16,87	17,01	15,18	16,8
EM ⁴	16,06	13,73	-	-	
EM ⁵	-	-	-	14,91	16,6 ⁶
EN ⁵	-	-	-	12,26	13,3 ⁶
Rapports, %					
EM/ED ⁴	99,3	81,4	-	-	
EM/ED ⁵	-	-	-	98,3	99,0
EN/EM ⁵	-	-	-	82,2	80,0

¹Méthode de calcul par différence.

²Méthode de calcul par régression.

³Matière organique.

⁴Valeur EM sans prise en compte du méthane (essai 1).

⁵Valeur EM avec prise en compte du méthane (essai 2).

⁶Pour moins de 3 g de glycérol ingéré par kg de poids vif et par jour.

Le coefficient d'utilisation digestive du glycérol (96%) est voisin de la valeur obtenue dans l'essai 1 au taux de 12% de glycérol à l'aide de la méthode par différence (95%).

On peut aussi noter que les coefficients de digestibilité de l'énergie du glycérol mesurés à l'aide de la méthode par différence à des taux de 6 (essai 1) ou 7,5% (essai 2) sont plus faibles que cette valeur de 95-96% mais aussi probablement moins précis compte tenu du faible taux d'incorporation et des erreurs qui en résultent.

Les résultats de l'essai 3 ne montrent que peu de différences des performances zootechniques et des caractéristiques de carcasse selon le taux d'incorporation de glycérol dans l'aliment (Tableau 4).

Le seul effet significatif est observé au cours de la période de croissance avec une vitesse de croissance réduite (3%) aux taux de 4 et 6% de glycérol.

A l'abattage, les porcs du régime à 6% de glycérol tendent à présenter un poids de carcasse légèrement inférieur à ceux des trois autres régimes en lien avec l'effet de ce traitement sur le gain de poids vif pendant la période de croissance. Cet élément explique la tendance observée à la diminution du rendement de carcasse pour ce régime.

Tableau 3 - Composition des régimes (essai 3)

Glycérine, %	Régimes ^{1,2}			
	0	2	4	6
Blé, %	46-43	44-41	42-40	39-38
Orge, %	10-25	10-24	10-23	10-22
Tourteau de soja, %	8-2	9-3	10-3	11-4
Tourteau de colza, %	8-8	7-8	6-8	6-8
ED, MJ/kg	13,5-13,3			
EN, MJ/kg	9,7			
Protéines, %	16,0-14,0			
Lysine dig. ³ , g/kg	8,7-7,8			
Sodium, g/kg	1,8	1,9	2,1	2,2

¹Taux ou teneurs dans les aliments croissance et finition séparés par un tiret lorsqu'ils sont différents.

²Pour tous les régimes : maïs : 20% en croissance et 15% en finition ; drêches de blé : 5% en croissance et en finition ; complément oligo-éléments et vitamines : 0,25%. Respectivement pour les régimes 0, 2, 4 et 6% de glycérol, Lysine HCl : 4,45, 4,30, 4,15 et 4,00 kg/t en croissance et 4,85, 4,75, 4,65, 4,55 kg/t en finition ; L-Thréonine : 1,15, 1,10, 1,10, 1,05 kg/t en croissance et 1,35, 1,35, 1,30, 1,30 kg/t en finition ; DL-Méthionine : 0,30, 0,30, 0,30, 0,35 kg/t en croissance et 0,30 kg/t en finition ; L-Tryptophane : 0,10 kg/t en croissance et 0,20, 0,17, 0,17, 0,16 kg/t en finition ; carbonate de calcium : 14,2, 13,6, 13,9, 13,3 kg/t en croissance et 11,8, 11,4, 12,0, 11,7 kg/t en finition ; phosphate bicalcique : 2,3, 2,6, 2,9 et 3,2 kg/t en croissance ; chlorure de sodium : 4,0, 3,5, 3,0, 2,5 kg/t en croissance et en finition ; Natuphos® (10⁵UP/kg) : 0,05 kg/t en croissance et 0,030, 0,030, 0,035, 0,035 kg/t en finition.

³Lysine digestible. Autres acides aminés digestibles en proportion de la teneur en lysine digestible : méthionine + cystine, supérieures à 60% en croissance et en finition ; thréonine, 64% en croissance et 65% en finition ; tryptophane, 19% en croissance et en finition.

Tableau 4 - Comparaison des performances zootechniques et des caractéristiques de carcasse selon le taux de glycérine dans l'aliment (essai 3)

Glycérine, %	Régimes				Statistiques ¹	
	0	2	4	6	ETR	Effet
Effectif par régime	40					
Poids vif initial, kg	30,3				0,0	S**, B**
Période de croissance (6,5 semaines)						
Gain moyen quotidien ² , g	973 ^a	973 ^a	943 ^b	940 ^b	22	R**
Consommation moyenne journalière, kg	2,33	2,30	2,27	2,29	0,04	R ^t
Indice de consommation, kg/kg	2,40	2,37	2,41	2,43	0,05	R ^t
Poids vif intermédiaire ² , kg	73,1 ^a	73,1 ^a	71,8 ^b	71,6 ^b	1,0	R**, B**
Période de finition (8 semaines)						
Gain moyen quotidien, g	878	877	882	863	31	
Consommation moyenne journalière, kg	2,80	2,79	2,78	2,78	0,02	
Indice de consommation, kg/kg	3,20	3,20	3,17	3,25	0,11	
Poids vif final, kg	117,1	117,2	117,0	115,5	1,8	
Caractéristiques de carcasse						
Poids, kg	92,9	93,1	93,0	91,1	1,5	R ^t , B ^t
Rendement, %	79,4	79,5	79,6	78,9	0,6	R ^t
Épaisseur de lard G2, mm	15,8	15,6	15,0	15,1	0,9	S**
Épaisseur de maigre M2, mm	59,1	59,7	58,9	58,7	1,9	

¹ A partir de l'analyse de variance qui prend compte les effets du régime, du bloc et du sexe ; ETR = écart-type résiduel, R = effet régime, B = effet bloc, S = effet sexe ; niveaux de signification : t : P<0,10, * : P<0,05, ** : P<0,01. Données présentées correspondant aux moyennes ajustées.

² a, b : des lettres différentes pour un même critère indiquent que les moyennes sont significativement différentes selon le test de Tukey (P < 0,05).

3. DISCUSSION

Jusqu'au taux d'incorporation de 12% dans l'aliment, le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie du glycérol ne varie pas ; notre étude permet de proposer une valeur de 95% pour ce coefficient. Celle-ci est en accord avec les mesures de digestibilité iléale effectuées par Bartelt et Schneider (2002) qui obtiennent au minimum un coefficient de 97% pour ce critère. D'autre part, ces auteurs confirment que l'absorption intestinale du glycérol est rapide, puisque qu'au taux d'incorporation de 5% dans l'aliment, 91% du glycérol ingéré est déjà absorbé avant la partie médiane du jéjunum. La quantité de glycérol utilisée, correspondant à la différence entre quantités absorbée au niveau intestinal et éliminée dans les urines, semble se limiter à 180 g/j chez nos porcs de 60 kg, soit une valeur voisine de 3 g par kg de poids vif ; un taux de glycérol encore plus élevé aurait permis de préciser cette valeur. Chez des porcs de 35 kg, Bartelt et Schneider (2002) observent également une excrétion de glycérol négligeable lorsque le taux de glycérol (pur) dans l'aliment est de 5% et une excrétion urinaire qui représente, comme dans notre essai environ 20% du glycérol ingéré au taux de 10% dans l'aliment. Ces auteurs, qui ont travaillé avec des taux de glycérol plus élevés (15%) que dans l'essai 1, observent un plafonnement de la quantité de glycérol utilisé par l'animal voisin de 100-110 g par jour, soit également 3 g par kg de poids vif.

La conséquence de cette perte urinaire de glycérol lorsqu'il est ingéré à des niveaux dépassant la capacité d'utilisation de l'animal est un accroissement marqué des pertes d'énergie urinaire et une diminution nette du rapport EM/ED du régime. Avec 5% de glycérol pur dont l'EB est de 18,0 MJ/kg, Bartelt et Schneider (2002) obtiennent une teneur en EM de 17,5 MJ/kg. Ils proposent deux autres estimations de la teneur en EM du

glycérol, en retirant les quantités de glycérol retrouvées dans les fèces et les urines. Aux taux d'incorporation de 10 et 15%, ces estimations de la teneur en EM du glycérol pur sont respectivement de 18,2 et de 17,2 MJ/kg. Ces trois estimations sont proches et sont légèrement supérieures à nos propres résultats (16,6 MJ EM par kg). D'autres estimations de la teneur en EM sont disponibles (Lammers *et al.*, 2008a ; Kerr *et al.*, 2009) mais le dosage des teneurs en glycérol des urines n'y était pas effectué. Ces expériences ont été menées avec de la glycérine (87% de glycérol) et sur des porcs de 10 et 100 kg de poids vif. Les résultats montrent une baisse de la teneur en EM lorsque le taux d'incorporation de glycérol augmente. En ne retenant que leurs deux évaluations effectuées au taux alimentaire de 5%, on obtient une valeur moyenne de 17,7 MJ EM par kg de glycérol pur, également légèrement supérieure à nos résultats. Kerr *et al.* (2009) comparent différentes glycérines provenant de corps gras végétaux ou animaux sur des porcs de 11 kg de poids vif suivis en cage de digestibilité. La teneur en EM du glycérol pur obtenu à partir de 8 glycérines d'origine différente est en moyenne de 16 MJ et varie de 15,1 à 16,9 MJ. Ces valeurs sont inférieures à nos résultats mais peuvent s'expliquer par l'excrétion urinaire de glycérol non prise en compte dans cette étude, la quantité de glycérol ingérée étant supérieure à 3 g par kg de poids vif et par jour. Enfin, pour la première fois, l'essai 2 permet de proposer un rendement d'utilisation de l'EM en EN voisin de 80%, soit une valeur proche de celle de l'amidon (Noblet *et al.*, 1994). Les performances zootechniques observées dans l'essai 3 sont peu affectées par l'incorporation de glycérol dans les aliments conformément aux résultats de Mourot *et al.* (1983) et Cerneau *et al.* (1994) obtenus sur des porcs charcutiers.

Dans ces expériences, le glycérol était incorporé à un taux modéré (5%) et remplaçait une quantité équivalente d'amidon de maïs. Dans la bibliographie récente, les résultats obtenus n'aboutissent pas toujours à cette conclusion.

Lammers *et al.* (2008b) ainsi que Duttlinger *et al.* (2008) ne constatent aucune différence significative jusqu'à, respectivement, 10 et 5% d'incorporation de glycérol dans l'aliment de porc à l'engrais. Au contraire, Stevens *et al.* (2008) et Schieck *et al.* (2010) observent une amélioration de la croissance et de la consommation de porc à l'engrais avec, respectivement, 8 et 10% d'incorporation. Dans ce cas, ces résultats sont cependant accompagnés d'une détérioration de l'indice de consommation. Pour les porcelets au sevrage, le même effet sur la croissance et la prise alimentaire est observé avec 5 et 10% d'incorporation de glycérol (Zijlstra *et al.*, 2009 ; Shields *et al.*, 2011) sans que l'indice de consommation ne soit cependant modifié. Le taux d'incorporation de glycérol et la quantité journalière ingérée par les animaux, ainsi que les modalités de substitution peuvent interférer d'autant plus que les régimes ne sont pas établis sur une base EN et un ratio protéines énergie équivalent.

CONCLUSION

Dans la limite de 3 g par kg de poids vif et par jour, le glycérol peut représenter une matière première d'intérêt pour le porc et contribuer à son apport énergétique.

Il est important de respecter cette limite d'ingestion, car les capacités métaboliques d'utilisation du glycérol sont réduites, le glycérol en excès étant alors excrété dans les urines.

Sur le plan technologique, il est utile de signaler que le caractère hygroscopique du glycérol complique son utilisation lors de la fabrication mais également au cours du stockage des aliments.

Pour une revue plus détaillée de l'intérêt nutritionnel du glycérol, le lecteur pourra se reporter à la synthèse de Gaudré (2009).

REMERCIEMENT

Cette étude a été cofinancée par l'Onidol et le programme national de développement agricole et rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barea R., Dubois S., Gilbert H., Sellier P., van Milgen J., Noblet J., 2010. Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 88, 2062-2072.
- Bartelt J., Schneider D., 2002. Untersuchungen zum energetischen Futterwert von Glycerol in der Fütterung von Geflügel und Schweinen, 2002. *UFOP-Schriften*, Heft 17, Glycerin und Tierernährung, 15-36.
- Cerneau P., Mouro J., Peyronnet C., 1994. Effet du glycérol alimentaire sur la qualité de la viande de porc et le rendement technologique du jambon cuit. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 26, 193-198.
- Duttlinger A.W., Tokach M.D., Drits S.S., DeRouchey J.M., Nelssen J.L., Goodband R.D., Prusa K.J., 2008. Effects of increasing dietary glycerol and dried distillers grains with soluble on growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 86, E-Suppl., 786.
- Kerr B.J., Weber T.E., Dozier W.A., Kidd M.T., 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *J. Anim. Sci.*, 87, 4042-4049
- Gaudré D., 2009. Valeurs nutritionnelles du glycérol pour le porc. Etat des lieux des connaissances disponibles. *TechniPorc*, 32, 2, 9-14.
- Lammers P.J., Kerr B.J., Weber T.E., Dozier W.A., Kidd M.T., Bregendahl K., Honeyman M.S., 2008a. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 86, 602-608.
- Lammers P.J., Kerr B.J., Weber T.E., Bregendahl K., Lonergan S.M., Prusa K.J., Ahn D.U., Stoffregen W.C., Dozier W.A., Honeyman M.S., 2008b. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *J. Anim. Sci.*, 86, 2962-2970.
- Lin E.C.C., 1977. Glycerol utilization and its regulation in mammals. *Ann. Rev. Biochem.*, 46, 765-795.
- Mouro J., Aumaitre A., Mounier A., Peiniau P., François A., Peyronnet C., Jamet J.P., 1983. Effets du glycérol alimentaire sur les performances de croissance et la qualité de la viande chez le porc Large White. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 25, 29-36.
- Noblet J., Shi X.S., Fortune H., Dubois S., Lechevestrier Y., Corniaux C., Sauvart D., Henry Y., 1994. Teneur en énergie nette des aliments chez le porc. Mesure, prédiction et validation aux différents stades de sa vie. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 26, 235-250.
- Noblet J., Jaguelin-Peyraud Y., Sève B., Delporte C., 2007. Valeur nutritionnelle des co-produits de l'amidonnerie de pois chez le porc. *Journées Rech. Porcine*, 39, 111-118.
- SAS, 1990. *SAS/STAT, User's guide* (Release 6.07), SAS Inst. Inc., USA.
- Schieck S.J., Shurson G.C., Kerr B.J., Johnston L.J., 2010. Evaluation of glycerol, a biodiesel coproduct, in grow-finish pig diets to support growth and pork quality. *J. Anim. Sci.*, 88, 3927-3935.
- Shields M.C., van Heugten E., Lin X., Odle J., Stark C.S., 2011. Evaluation of the nutritional value of glycerol for nursery pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 2145-2153.
- Stevens J., Schinckel A., Latour M., Kelly D., Sholly D., Legan B., Richert B., 2008. Effects of feeding increasing levels of glycerol with or without distillers dried grains with solubles in the diet on grow-finish pig growth performance and carcass quality. *J. Anim. Sci.*, 86, E-Suppl., 785.
- Tao R.C., Kelley R.E., Yoshimura N.N., Benjamin F., 1983. Glycerol: Its metabolism and use as an intravenous energy source. *J. of Parenter. Enteral Nutr.*, 7, 5, 479-488.
- Zijlstra R.T., Menjivar K., Lawrence E., Beltranena E., 2009. The effect of feeding crude glycerol on growth performance and nutrient digestibility in weaned pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 89, 85-89.