

# Quel seuil d'incorporation sans effets des facteurs anti-trypsiques du soja pour l'alimentation du porc en engraissement ?

Eric ROYER (1), Nathalie LEBAS (1), Alain QUINSAC (2), Laurent ALIBERT (1)

(1) Ifip-Institut du Porc, 258 route de la Mathébie, 12200 Villefranche-de-Rouergue, France

(2) Terres Inovia, 11 rue Monge, 33600 Pessac, France

laurent.alibert@ifip.asso.fr

Avec la collaboration technique de Benjamin THOMAS, Melissa CASSAN, Julien SAINT-AFFRE, Youri DENIS, Gérard ROQUES, Angélique VASLIN, Kevin MARIE-LOUISE-BREDON et Sébastien PONS (Station expérimentale Villefranche-Grand-Sud).

## Quel seuil d'incorporation sans effets des facteurs anti-trypsiques du soja pour l'alimentation du porc en engraissement ?

Plusieurs variétés de graines de soja (Bahia, Isidor et Ecuror) sont incorporées crues à des taux allant de 2,5 à 12,5%, pour préparer des aliments d'engraissement contenant respectivement 0,8, 1,5, 2,1, 3,3 et 3,5 unités d'inhibiteur de trypsine (TIU) /mg dans l'essai 1, et 0,9, 1,7, 2,2, 2,4, 4,0 et 4,8 TIU/mg dans l'essai 2. Dans l'essai 3, les animaux reçoivent des aliments à 0,7 ou 2,8 TIU/mg en période de croissance, puis en finition reçoivent les mêmes aliments, ou bien changent d'aliment afin d'évaluer l'arrière-effet de l'aliment précédent. Pour les essais 1 et 2, 310 femelles et mâles castrés sont utilisés à raison de six cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 1, puis quatre ou six cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 2. Dans l'essai 3, 32 porcs mâles castrés sont utilisés en loge individuelle. Pour tous les essais, les scores individuels de consistance des fèces ne diffèrent pas selon le traitement. La consommation d'aliment (CMJ) est affectée par les aliments lors de l'essai 2 pour les périodes nourrain puis croissance ( $P < 0,05$ ), ainsi que le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) pour la période nourrain dans l'essai 1, et les périodes nourrain et croissance dans l'essai 2 ( $P < 0,01$ ). Chaque TIU entraîne une baisse de 32 g du GMQ (ETR = 48) et une hausse de 0,05 point d'IC (ETR = 0,08). En finition, les performances ne diffèrent pas entre régimes. Le rendement de carcasse est diminué à 3,3 et 3,5 TIU/mg dans l'essai 1. Pour l'essai 3, l'aliment à 2,8 TIU/mg diminue la CMJ et le GMQ, et augmente l'IC en période nourrain mais les différences ne sont pas significatives en croissance. En finition, la CMJ et le GMQ des porcs recevant successivement les régimes à 0,7 puis à 2,8 TIU/mg sont moins élevés ( $P < 0,05$ ), alors que leur IC est plus élevé ( $P < 0,05$ ). Les porcs des deux groupes recevant 2,8 TIU/mg en finition ont un rendement carcasse diminué ( $P = 0,08$ ) et un poids de pancréas plus élevé ( $P < 0,05$ ). Une teneur limite maximale de 2,0 TIU de facteurs anti-trypsiques par mg d'aliment est proposée pour le porc en engraissement.

## Which maximum content of soy trypsin inhibitors in feeds for fattening pigs?

Raw full-fat soybeans of three varieties (Bahia, Isidor and Ecuror) were used at levels ranging from 2.5 to 12.5 % to prepare fattening diets averaging 0.8, 1.5, 2.5, 3.3 and 3.5 trypsin inhibitor units (TIU)/mg in Exp.1, and 0.9, 1.7, 2.2, 2.4, 4.0 and 4.8 TIU/mg in Exp.2. In Exp.3, pigs were fed 0.7 or 2.8 TIU/mg during the growing period and for the finishing period were either fed the same diet or switched to a different diet to assess the back-effect of the initial feed. For Exp.1 and 2, a total of 310 females and barrows were housed in six pens of five pigs each per treatment in Exp.1, and four or six pens of five pigs each per treatment in Exp.2. In Exp.3, 32 barrows were used in individual pens. For all trials, individual faecal scoring was similar among treatments. Average daily feed intake (ADFI) was affected by diets in Exp.2 for the early-growing and growing periods ( $P < 0.05$ ), as well as average daily gain (ADG) and feed conversion ratio (FCR) for the early-growing period in trial 1, and the early-growing and growing periods in Exp. 2 ( $P < 0.01$ ). Each TIU resulted in a 32 g decrease in ADG (RSD = 48) and a 0.05 point increase in FCR (RSD = 0.08). For finishing stage, performance did not differ among treatments. Carcass yield was decreased for 3.3 and 3.5 TIU/mg in Exp.1. In Exp.3, the 2.8 TIU feed decreased ADFI and ADG, and increased FCR in the early-growing period but the differences were not significant for the growing period. For finishing period, pigs fed 0.7 then 2.8 TIU/mg diets had lower ADFI and ADG ( $P < 0.05$ ), while their FCR was higher ( $P < 0.05$ ). Pigs of both treatments given 2.8 ITU/mg for the finishing period had lower carcass yield ( $P = 0.08$ ) and higher pancreas weight ( $P < 0.05$ ). A maximum limit of 2.0 TIU of anti-trypsin factors per mg of feed is proposed for growing and finishing pigs.

## INTRODUCTION

Parmi les facteurs antinutritionnels du soja, e.g. saponines, tannins, phytates, lipoxygénases, lectines et inhibiteurs de protéase, ces derniers sont les plus pénalisants pour le porc. Ils forment des complexes avec la trypsine et la chymotrypsine, entraînant une baisse de la protéolyse et de mauvaises performances de croissance. L'ingestion de ces facteurs anti-trypsiques (FAT) stimule la sécrétion des enzymes pancréatiques (revue de Cabrera-Orozco *et al.*, 2013) et augmente les pertes endogènes spécifiques. Par ailleurs, il apparaît que de fortes différences existent entre les porcelets dans leurs réponses individuelles aux FAT du soja (Qin *et al.*, 1996). Pour l'alimentation du porc, le traitement thermique appliqué au soja doit être suffisant pour neutraliser les facteurs antinutritionnels (Halas *et al.*, 2020), mais sans être trop intense pour ne pas détériorer la qualité et la solubilité de la protéine (Qin *et al.*, 1996). Dans le contexte de la récente progression de la production européenne, notamment française, de soja (Guilpart *et al.*, 2019 ; Terres Univia, 2020) et de la sélection de graines à teneurs plus faibles en FAT nécessitant moins d'énergie pour la production de tourteaux (Berger *et al.*, 2015), l'évaluation de la tolérance du porc à une activité anti-trypsique alimentaire modérée est utile pour optimiser le traitement et l'utilisation des produits du soja. Trois essais ont été réalisés à la station de Villefranche-de-Rouergue pour évaluer la teneur maximale en inhibiteurs de trypsine pour l'alimentation des porcs en croissance-finition.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

Pour les essais 1 et 2, respectivement 150 et 160 porcs femelles et mâles castrés croisés Piétrain x (Large White x Landrace) sont mis en lot en fin de post-sevrage (29,2 ± 1,3 kg pour l'essai 1 et 29,6 ± 2,5 kg pour l'essai 2), à raison de, pour chaque sexe, trois cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 1, et deux à trois cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 2. Dans l'essai 3, 32 porcs mâles castrés (26,7 ± 1,2 kg) sont utilisés en loge individuelle.

Les traitements expérimentaux correspondent à des régimes (R) contenant des graines de soja à teneur en FAT faible (*var.* Bahia) ou standard (*var.* Isidor et Ecurdor) et incorporées crues dans les aliments nourrain-croissance puis finition, à des taux allant de 2,5 à 10% (R2 à R5, essai 1) et 2,5 à 12,5% (R2 à R6, essai 2), en substitution de graines extrudées et du tourteau de soja (R1). Dans l'essai 3, les animaux sont alimentés avec une ration contenant 8 % de graines extrudées (R1) ou crues (*var.* Ecurdor) (R2). En période nourrain-croissance et finition, les animaux reçoivent les mêmes aliments (R1R1 et R2R2), ou bien changent d'aliment entre la croissance et la finition afin d'évaluer l'arrière-effet de l'aliment précédent (R1R2 et R2R1). Les régimes sont distribués dès le premier jour (J) de la période d'engraissement jusqu'à l'abattage en deux lots à J98 et J110 pour l'essai 1, à J97 et J111 pour l'essai 2, et après une semaine d'adaptation (J8) jusqu'à J97 pour l'essai 3.

### 1.2 Matières premières et aliments

Les graines de soja Bahia, Isidor et Ecurdor ont été cultivées à Moissac (82) et Beaumont-sur-Lèze (31). Le lot de graines extrudées est un lot du commerce à partir de graines importées. La composition chimique des matières premières est analysée,

**Tableau 1** – Taux de graines et tourteau de soja incorporés selon le régime (R) dans les essais 1 à 3

%	Ext <sup>1</sup>	Bahia <sup>2</sup>	Isidor <sup>2</sup>	Ecurdor <sup>2</sup>	Tsoja 48 <sup>3</sup>
<b>Essai 1</b>					
R1	5				10_8,7
R2	2,5	2,5			10_8,7
R3		5			10_8,7
R4			5		10_8,7
R5		10			7_5,5
<b>Essai 2</b>					
R1	5				10_7,9
R2	2,5			2,5	10_7,9
R3		5			10_7,9
R4				5	10_7,9
R5				10	7,1_5,2
R6				12,5	5,8_3,8
<b>Essai 3</b>					
R1	8				10_9,5
R2				8	10_9,5

<sup>1</sup> Graines extrudées. <sup>2</sup> Graines crues. <sup>3</sup> Tourteau de soja dans l'aliment nourrain-croissance puis finition

puis leurs valeurs énergétique et protéique sont calculées à l'aide du logiciel EvaPig® (INRA-AFZ-Ajinomoto, version 1.3.04). Les aliments expérimentaux sont formulés et produits dans l'unité de fabrication de la station à partir de blé, d'orge, de maïs, de tourteau et de graines de soja, d'acides aminés de synthèse, phytase et minéraux. Les valeurs retenues pour les différentes graines de soja sont celles des Tables INRA –AFZ (2004), soit en particulier 12,03 MJ d'énergie nette (EN) /kg brut. Les taux d'incorporation sont indiqués au Tableau 1.

Les concentrations en EN des aliments sont de 9,8 MJ/kg brut pour l'essai 1, respectivement 9,8 et 10,2 MJ/kg en croissance et finition pour l'essai 2, puis 9,9 MJ/kg pour l'essai 3. Les aliments témoins sont formulés pour les phases de croissance et finition, respectivement, pour atteindre 16,0 et 14,6 % de matières azotées totales pour l'essai 1, 15,5 et 14,4 % pour l'essai 2, puis 15,5 et 15,2 % pour l'essai 3. Ils respectent un rapport de 0,9 puis 0,8 g de lysine digestible par MJ d'EN. Les rapports entre les autres acides aminés (méthionine, acides aminés soufrés, thréonine, tryptophane, valine, isoleucine, leucine et histidine) et la lysine digestible sont, respectivement, de 29, 60, 65, 19, 70, 63, 110, 38% et 30, 59, 65, 19, 70, 59, 120, 38% dans l'aliment croissance et finition. La distribution est réalisée à l'auge en farine humidifiée (ratio eau:aliment de 1:1 l/kg), et augmentée selon l'appétit des cases avec un plafonnement des quantités pour les mâles et les femelles respectivement à 2,8 et 2,6 kg/j pour l'essai 1, 3,0 et 2,8 kg/j pour l'essai 2, et 2,8 kg/j pour l'essai 3.

### 1.3 Mesures zootechniques et analyses de laboratoires

Des pesées individuelles sont effectuées à la mise en lot (J0) puis toutes les 2 à 3 semaines (J15, J28, J43, J56, J70 et J85 pour l'essai 1 ; J15, J28, J42, J56, J78 pour l'essai 2 ; et J8, J21, J35, J49, J63, J76 pour l'essai 3) et la veille de chaque abattage. La mise à jeun des animaux est obtenue après distribution, lors des 24 heures précédant la pesée, d'une quantité correspondant à 80 % de la consommation de la veille. Les quantités d'aliments distribués sont pesées quotidiennement ainsi que les éventuels refus. A l'abattoir, le poids de carcasse chaud est relevé et les épaisseurs de gras et de muscle sont mesurées avec l'appareil CGM. Le taux de muscle est estimé avec l'équation TMPcgm (Daumas, 2008). Lors de l'essai 3, le pancréas est prélevé à l'abattage et pesé. L'état de santé des animaux est

**Tableau 2** – Effets de la teneur en FAT sur les performances des porcs de l'essai 1<sup>1</sup>

Régime FAT <sup>2</sup> TIU/mg	R1	R2	R3	R4	R5	ETR	Statistiques <sup>3,5</sup>	
							P	Contrastes <sup>4</sup>
Poids vif, kg								
J0	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	0,0		
J15	38,4	38,6	37,9	37,5	36,8	1,4		L* B*
J43	61,6 <sup>a</sup>	60,9 <sup>a</sup>	61,0 <sup>a</sup>	58,0 <sup>b</sup>	57,4 <sup>b</sup>	2,3	R*	L** B** C*
J98	109,9 <sup>a</sup>	108,9 <sup>ac</sup>	109,3 <sup>a</sup>	106,1 <sup>bc</sup>	105,3 <sup>b</sup>	2,2	R*	L** B** C*
CMJ, g/j								
J0-15	1,29	1,34	1,31	1,25	1,23	0,13		
J15-43	1,97	1,95	1,96	1,90	1,85	0,10		L* B*
J43-98	2,62	2,62	2,62	2,61	2,61	0,01		L* B <sup>t</sup>
GMQ, g/j								
J0-15	617	626	583	556	507	95		L* B*
J15-43	827 <sup>a</sup>	800 <sup>ac</sup>	815 <sup>a</sup>	731 <sup>b</sup>	736 <sup>bc</sup>	39	R**	L** B** C**
j 43 à 98	878	872	878	876	872	19		
IC, g/g								
J0-15	2,13	2,15	2,24	2,27	2,43	0,20		L* B*
J15-43	2,38 <sup>a</sup>	2,44 <sup>ab</sup>	2,40 <sup>a</sup>	2,59 <sup>c</sup>	2,51 <sup>bc</sup>	0,06	R**	L*** B*** C**
J43-98	2,99	3,01	2,98	2,99	2,99	0,07		
Poids chaud, kg	91,2 <sup>ab</sup>	91,8 <sup>a</sup>	90,0 <sup>ab</sup>	89,4 <sup>ab</sup>	88,7 <sup>b</sup>	1,5	R*	L** A <sup>t</sup> B**
Rendement froid, %	77,7 <sup>a</sup>	77,4 <sup>ab</sup>	77,4 <sup>a</sup>	77,0 <sup>ab</sup>	76,5 <sup>b</sup>	0,4	R*	L** B** C*
Taux muscle, %	60,5 <sup>a</sup>	60,8 <sup>a</sup>	59,2 <sup>b</sup>	59,8 <sup>ab</sup>	58,8 <sup>b</sup>	0,6	R*	L** A** AC**

<sup>1</sup> Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées calculées pour six cases d'un effectif final de 4 à 5 porcs chacune. La case est l'unité expérimentale. <sup>2</sup> Teneur en facteurs anti-trypsiques calculée pour les aliments nourrain- croissance et finition. <sup>3</sup> Analyse de la variance avec en effets fixes, le régime (R) et le bloc. Le poids moyen d'abattage de la case est ajouté en covariable pour les données de carcasse. <sup>4</sup> Analyse des effets linéaire (L) et quadratique (contrastes) du régime, et R1+R2 vs R3 (A), R1+R2 vs R4+R5 (B), R3 vs R4+R5 (C). <sup>5</sup> Valeur de P pour le régime : <sup>t</sup> P < 0,10, \* P < 0,05, \*\* P < 0,01, \*\*\* P < 0,001. ETR : écart-type résiduel. Les valeurs non indexées de la même lettre diffèrent (P < 0,05).

observé quotidiennement. Une notation individuelle de la consistance des fèces est réalisée pour tous les porcs mâles à J8, J22, J37, J57, J78 et J96 pour l'essai 1 (n = 15 animaux par lot), et J8, J21, J34, J49, J63, J78 et J96 pour l'essai 3 (n = 8 animaux par lot), à l'aide d'une grille en cinq points (moulé-segmenté à diarrhée liquide).

La composition chimique est déterminée pour les matières premières et les aliments. De plus, les graines et les tourteaux de soja ont été analysés pour la solubilité de l'azote dans la soude, la digestibilité enzymatique 1 heure (1H), ainsi que leurs activités anti-trypsique et uréasique, par le laboratoire InVivo Labs (Vannes, France). Les inhibiteurs de trypsine sont mesurés par une méthode dérivée de la méthode AOCS – Ba 12.75 de 1983 (www.AOCS.org).

#### 1.4 Analyses statistiques

La consommation des animaux morts ou retirés entre deux pesées est calculée au prorata de leur durée de présence dans la case sur la période. Les performances zootechniques des essais 1 et 2 sont tout d'abord analysées en distinguant la période initiale nourrain (J0-15), de celle de croissance (J15-42 ou 43) puis celle de finition (J43-98 et J42-97) avec une analyse de variance (proc GLM, SAS 9.4, SAS Inst., Cary, NC) utilisant la case comme unité expérimentale et prenant en compte les effets fixes du régime (R) et du bloc. L'effet des FAT a été analysé par contrastes (linéaire, quadratique et comparaisons en regroupant les niveaux du régime). Pour l'essai 3, le modèle inclut les effets du régime croissance (R<sub>C</sub>), du régime finition (R<sub>F</sub>) et de l'interaction, avec le poids initial comme covariable pour les périodes nourrain et croissance. Le poids vif d'abattage est ajouté en covariable pour les paramètres de carcasse des essais 1 et 3. Le test de Tukey est utilisé pour les comparaisons de moyennes.

Afin de quantifier l'adaptation aux FAT des porcs entre chaque pesée, les performances de la phase nourrain-croissance sont analysées par un modèle mixte (Proc Mixed, SAS), avec la case comme sujet des mesures répétées, incluant les effets R, bloc,

jour de pesée (J) et les interactions R×bloc et R×J. Les comparaisons de moyennes sont effectuées à l'aide du test de Bonferroni. Enfin, les performances des essais 1 et 2 ont été regroupées par période. L'effet de la concentration en FAT sur les performances est étudié pour chacune des périodes en prenant en compte les effets essai, sexe (S<sub>x</sub>) et poids initial (P<sub>0</sub>), à l'aide de modèles linéaire et quadratique (Proc REG, SAS), ou non linéaires (Proc NLIN, SAS) afin de déterminer un éventuel seuil des FAT sur la dégradation des performances. Les notes d'aspect des fèces sont comparées par analyse non paramétrique (Proc NPAR1WAY, SAS).

## 2. RESULTATS

La composition chimique des aliments est proche de celle calculée à partir des analyses des matières premières (données non présentées). Les concentrations en FAT sont respectivement de 5,2, 31,0, 33,2 et 53,5 unités d'inhibiteur de trypsine (TIU) par mg pour les graines Ext, Bahia, Eudor et Isidor. L'activité uréasique est mesurée respectivement à < 0,01, 4,15, 4,19 et 4,68 mg/min. La solubilité de l'azote dans la soude atteint 73,6, 78,1, 81,5 et 83,8 g/100 g de protéine. Enfin, la digestibilité enzymatique 1 H est établie à respectivement 24,3, 61,5, 82,9 et 71,7 g/100 g de protéine pour les quatre graines. Trois lots de tourteaux de soja distincts ont été utilisés pour les essais 1, 2 et 3. Leurs concentrations en FAT sont respectivement de 6,0, 6,1 et 3,1 TIU/g brut. Les teneurs analytiques en FAT des aliments croissance et finition fabriqués pour les trois essais sont conformes aux valeurs calculées. Ces dernières sont utilisées pour l'étude des résultats.

Pour les essais 1 et 3, respectivement trois et un porcs sont morts ou ont été retirés. Deux autres porcs de l'essai 1 ont reçu des soins. Lors de l'essai 2, cinq porcs sont morts entre J11 et J21, soit un taux de pertes de 3,1%. Tous présentent des symptômes de maladie de l'œdème. Les traitements concernés sont les régimes R4 (n = 2), R5 (n = 2) et R6 (n = 1). Un traitement collectif a été effectué à partir de J21 (12 mg de fluméquine et 100 000 UI de colistine /kg PV/J pendant quatre jours). Trois

**Tableau 3** – Effets de la teneur en FAT sur les performances des porcs de l'essai 2<sup>1</sup>

Régime FAT <sup>2</sup> TIU/mg		R1	R2	R3	R4	R5	R6	ETR	Statistiques <sup>3,5</sup>	
									P	Contrastes <sup>4</sup>
Poids vif, kg	J0	29,6	29,6	29,7	29,7	29,6	29,6	0,0		
	J15	40,4 <sup>a</sup>	40,2 <sup>a</sup>	39,9 <sup>a</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	38,2 <sup>b</sup>	38,3 <sup>b</sup>	0,7	R***	L*** B*** C***
	J42	60,7 <sup>ab</sup>	62,3 <sup>b</sup>	60,1 <sup>abc</sup>	61,1 <sup>ab</sup>	56,0 <sup>c</sup>	57,6 <sup>ac</sup>	2,2	R***	L*** B*** C**
	J97	111,2 <sup>a</sup>	112,3 <sup>a</sup>	110,7 <sup>ab</sup>	112,2 <sup>a</sup>	104,4 <sup>b</sup>	107,9 <sup>ab</sup>	3,2	R**	L** B*** C**
CMJ, g/j	J0-15	1,59 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,57 <sup>ab</sup>	1,57 <sup>ab</sup>	1,46 <sup>c</sup>	1,50 <sup>bc</sup>	0,04	R***	L*** B*** C***
	J15-42	1,83 <sup>ab</sup>	1,90 <sup>a</sup>	1,82 <sup>ab</sup>	1,84 <sup>ab</sup>	1,66 <sup>b</sup>	1,73 <sup>ab</sup>	0,11	R*	L** B** C*
	J42-97	2,50	2,56	2,47	2,59	2,44	2,57	0,11		
GMQ, g/j	J0-15	718 <sup>a</sup>	702 <sup>a</sup>	682 <sup>a</sup>	654 <sup>ab</sup>	575 <sup>b</sup>	579 <sup>b</sup>	46	R***	L*** A <sup>t</sup> B*** C***
	J15-42	752 <sup>ab</sup>	820 <sup>a</sup>	748 <sup>ab</sup>	799 <sup>a</sup>	652 <sup>b</sup>	716 <sup>ab</sup>	58	R**	L** B*** C**
	J42-97	915	909	919	933	880	913	43		
IC, g/g	J0-15	2,21 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	2,34 <sup>a</sup>	2,43 <sup>ab</sup>	2,56 <sup>ab</sup>	2,64 <sup>b</sup>	0,18	R**	L*** B*** C*
	J15-42	2,43 <sup>ab</sup>	2,32 <sup>a</sup>	2,44 <sup>ab</sup>	2,30 <sup>a</sup>	2,54 <sup>b</sup>	2,42 <sup>ab</sup>	0,10	R**	B* C**
	J42-97	2,73	2,82	2,68	2,79	2,77	2,82	0,09		
Poids chaud, kg		93,6	93,9	93,1	93,0	90,3	91,8	2,1	R <sup>t</sup>	L* B** C <sup>t</sup>
Rendement froid, %		77,7	78,0	77,6	77,1	77,4	77,7	0,6		
Taux muscle, %		60,6	59,8	60,3	59,6	60,1	59,1	1,0		L*

<sup>1</sup> Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées calculées pour 4 (R3 et R4) ou 6 cases (R1, R2, R5 et R6) d'un effectif final de 3 à 5 porcs chacune par régime. La case est l'unité expérimentale. <sup>2</sup> Voir Tableau 2. <sup>3</sup> Analyse de la variance avec en effets fixes, le régime (R) et le bloc. <sup>4</sup> Test des contrastes linéaire (L), quadratique, R1+R2 vs R3+R4 (A), R1+R2 vs R5+R6 (B), R3+R4 vs R5+R6 (C). ETR = écart-type résiduel. <sup>5</sup> Voir Tableau 2.

autres porcs ont reçu des soins dont un du régime R6 pour maladie de l'œdème. Dans les trois essais, les scores de consistance des fèces et de propreté ne sont pas influencés par les régimes. Seuls les porcs R1 de l'essai 1 tendent à avoir des fèces plus fermes à J23 ( $P = 0,08$ ) et J30 ( $P = 0,10$ ).

Lors de l'essai 1 (Tableau 2), la consommation moyenne journalière (CMJ) pendant la période nourrain (J0-15) n'est pas significativement affectée par le régime. Cependant, pour cette période, l'augmentation de la teneur en FAT du régime de 0,9 à 3,5 TIU/mg se traduit par une réduction linéaire du gain moyen quotidien (GMQ ; 617 vs 507 g/j ;  $P = 0,04$ ) et une augmentation de l'indice de consommation (IC ; 2,13 vs 2,43 g/g ;  $P = 0,02$ ). Pour la période croissance (J15-43), l'augmentation de la teneur en FAT dégrade de manière linéaire la CMJ ( $P = 0,04$ ), le GMQ ( $P < 0,01$ ) et l'IC ( $P < 0,001$ ). Au début de la période finition (J43-98), la consommation des porcs atteint la quantité fixée comme plafond. Le GMQ et l'IC ne diffèrent plus entre les régimes.

Lors de l'essai 2 (Tableau 3), l'augmentation de 0,9 à 4,8 TIU/mg de la teneur en FAT se traduit dès la période nourrain (J0-15) par un effet linéaire ( $P < 0,001$ ) sur la CMJ (1,59 vs 1,50 kg/j), le GMQ (718 vs 579 g/j) et l'IC (2,21 vs 2,64 g/g). La période de croissance (J15-42) correspond à l'épisode de maladie de l'œdème. La CMJ et le GMQ sont à nouveau dégradés par l'effet linéaire des FAT ( $P < 0,01$ ), mais celui-ci n'apparaît pas sur l'IC. L'écart d'IC le plus élevé est mesuré entre les porcs du régime R2 et ceux du régime R5 (2,32 vs 2,54 ;  $P < 0,01$ ). En finition (J42-97), le plafond, plus libéral, n'est pas atteint par la plupart des cases. Cependant, la CMJ ainsi que le GMQ et l'IC ne sont pas modifiés par la teneur en FAT des régimes ( $P > 0,05$ ).

Dans les deux essais, le poids vif des animaux est linéairement diminué par les FAT en fin de période nourrain ou croissance puis lors du 1<sup>er</sup> départ à l'abattage. Il est alors inférieur de 4,6 kg pour les porcs du régime R5 de l'essai 1 par rapport à ceux du régime R1 ( $P = 0,02$ ), et de 6,8 kg dans l'essai 2 pour ceux du régime R5 en comparaison du régime R1 ( $P < 0,01$ ). A J0, l'écart-type de poids vif intra case (ETC) s'établit à  $\pm 0,5$  kg pour l'essai 1 et  $\pm 1,0$  kg pour l'essai 2 (données non présentées). Lors de l'essai 1, l'ETC à J56 est respectivement de 3,2, 4,0, 2,8, 5,1 et 4,9 kg pour les régimes R1 à R5 ( $P = 0,07$ ). Pour l'essai 2, les cases des porcs recevant le régime R6 ont un ETC

significativement plus élevé à j 15, 28, 42, 56 et 78. A j 56, l'ETC atteint respectivement 3,4, 3,5, 6,2, 4,8, 4,0 et 7,0 kg pour les régimes 1 à 6 ( $P < 0,01$ ).

L'évolution dans le temps des performances permet d'étudier l'adaptation des porcs à leur régime lors des essais 1 et 2 (Figure 1). Ainsi, la hausse de la CMJ d'une période à l'autre est similaire quel que soit le régime pour l'essai 1, alors que pour l'essai 2 les porcs R5 et R6 ont une CMJ qui n'est pas différente entre J0-15 et J15-28. Par ailleurs, les porcs de l'essai 1 recevant les régimes R1 à 3 ont un IC significativement plus faible pour la période J0-15 comparativement aux périodes suivantes. A l'inverse, l'IC du régime R5 est élevé dès J0-15 mais ne se dégrade plus au-delà. Dans l'essai 2, l'IC ne varie pas significativement d'une période à l'autre pour R1 à R4, alors que pour R5 et R6, l'IC diminue avec le temps.

L'effet essai n'est pas significatif lors des analyses de régression des résultats regroupés des essais 1 et 2. Les données, ne correspondent pas à un modèle quadratique, ou bien linéaire-plateau ou curvilinéaire-plateau, de la réponse aux FAT. Les modèles linéaires suivants ont été déterminés (Proc REG, SAS) pour la période totale nourrain-croissance :

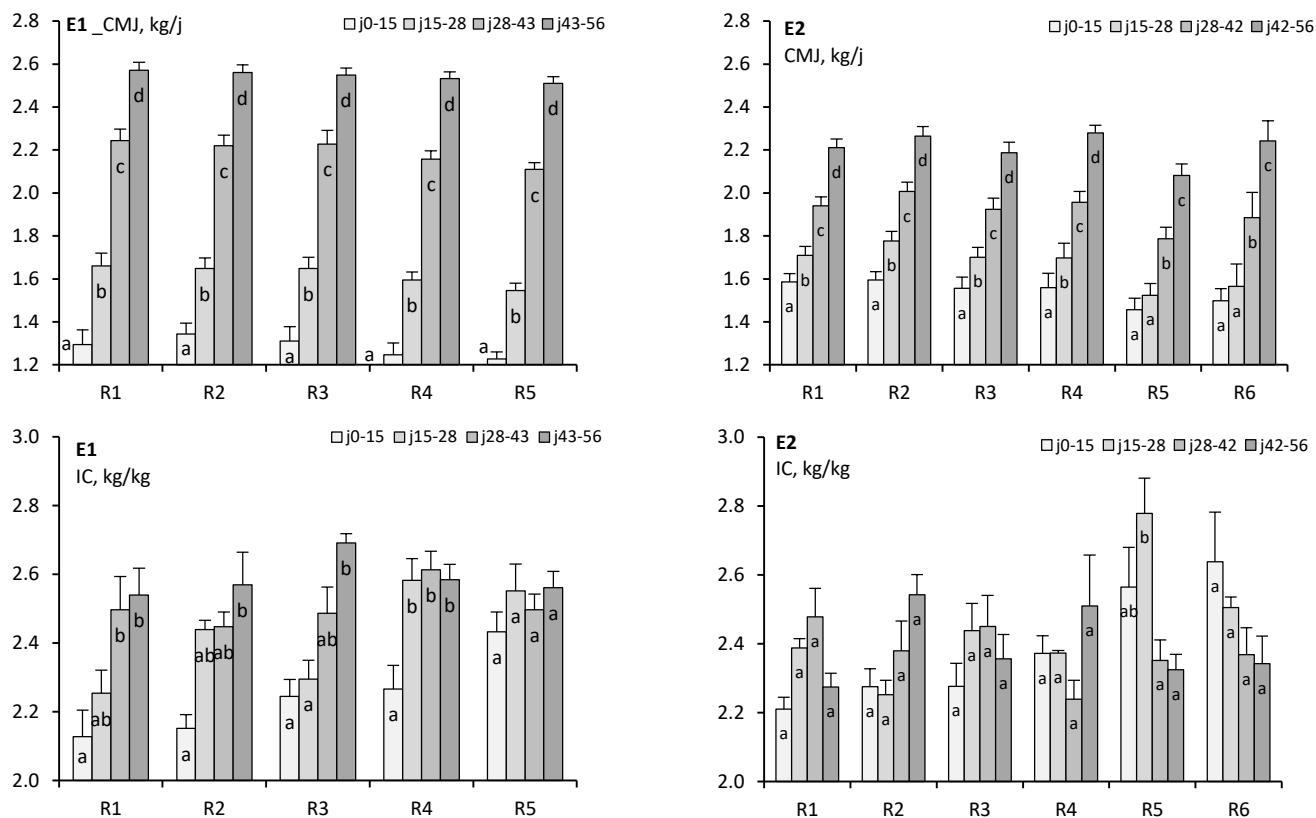
$$CMJ = 0,50 (\pm 0,18) - 0,04 (\pm 0,01) TIU + 0,04 (\pm 0,01) P_{j0} + 0,10 (\pm 0,02) S_x \quad [R^2 = 0,58; ETR = 0,09]$$

$$GMQ = 312 (\pm 99) - 32 (\pm 5) TIU + 15 (\pm 3) P_{j0} + 40 (\pm 13) S_x \quad [R^2 = 0,54; ETR = 48]$$

$$IC = 2,28 (\pm 0,02) + 0,05 (\pm 0,02) TIU \quad [R^2 = 0,39; ETR = 0,08]$$

où CMJ, GMQ, IC, TIU et  $P_{j0}$  sont respectivement exprimés en kg/j, g/j, kg/kg, TIU/mg et kg, alors que  $S_x$  prend la valeur 1 pour les mâles castrés et 0 pour les femelles.

Dans l'essai 3 (Tableau 4), l'aliment R2 à 2,8 TIU/mg diminue significativement la CMJ et le GMQ en période nourrain (J8-21), puis numériquement en période croissance (J21-49) par rapport à l'aliment témoin à 0,7 TIU. L'IC est plus élevé pour le régime R2 que pour le régime R1 en période nourrain ( $P = 0,05$ ), mais est similaire en période croissance. En finition (J49-97), les porcs recevant le régime R2 après avoir reçu le régime R1 en croissance, ont un GMQ plus faible par rapport aux porcs ayant



**Figure 1** – Effet par période du régime sur la CMJ et l'IC pendant les essais 1 (E1) et 2 (E2).

Les valeurs (moyenne et erreur standard) non indexées de la même lettre intra régime différent ( $P < 0,05$ ).

reçu la séquence R1R1 ( $P < 0,05$ ), ainsi qu'un IC plus élevé que celui des porcs R1R1 et R2R2. Les performances de finition des porcs recevant l'aliment R2 puis l'aliment R1, sont intermédiaires entre celles des porcs R1R1 et celles des porcs R2R2 et R1R2. A l'abattage, un poids plus élevé du pancréas est constaté pour les deux groupes ayant reçu le régime R2 en période de finition ( $P = 0,04$ ).

### 3. DISCUSSION

Les teneurs en FAT des graines de soja utilisées sont en accord avec celles rapportées pour les mêmes variétés par Berger *et al.* (2015). Ces auteurs soulignent que l'effet de la variété est plus important que celui du lieu et des conditions de culture, alors que les teneurs en FAT des tourteaux varient selon l'usine et le procédé d'origine (Karr-Lilienthal *et al.*, 2006). Le contrôle qualité et la traçabilité des produits du soja sont donc essentiels pour les utiliser avec précision en alimentation porcine. Dans leur revue, Woyengo *et al.* (2017) indiquent que la baisse de gain de poids provoquée par les FAT chez les monogastriques est liée à la fois à la réduction de l'ingéré et à la diminution de la digestibilité des nutriments. Notre étude confirme l'impact négatif des FAT sur la consommation d'aliment et l'efficacité alimentaire à des teneurs dans l'aliment de 3,3 et 3,5 TIU/mg dans l'essai 1 (R4 et R5), 4,0 et 4,8 TIU/mg dans l'essai 2 (R5 et R6), puis 2,8 TIU/mg dans l'essai 3. Les deux régimes R3 des essais 1 et 2 contiennent la même quantité de graines Bahia et ont des teneurs en FAT (2,2 TIU/mg) très proches. Ils entraînent des baisses numériques de gain de poids, non significatives, par rapport aux régimes R1 et R2 pour la période nourrain des deux essais. Ces résultats sont en accord avec ceux de Zollitsch *et al.* (1992) montrant une baisse de la croissance des porcs en engraissement recevant de 2,7 à 3,2 TIU/mg dans la ration. Chez

le porcelet sevré recevant un aliment à 2,7 TIU/mg, une baisse marquée du gain de poids et de la digestibilité des acides aminés a été rapportée par Halas *et al.* (2020).

La capacité d'adaptation des animaux à la présence des FAT dans les aliments après quelques semaines, observée dans l'étude, est en accord avec les observations précédentes chez le porcelet (Webster *et al.*, 2003 ; Lawrence *et al.*, 2004). En outre, les effets des FAT sont réversibles et les porcs R2R1 de l'essai 3 revenant à un régime à teneur faible après avoir été exposés pendant la période précédente, récupèrent une partie du retard de performance sur les porcs R1R1. A l'inverse, une réduction de la performance peut être constatée pour les porcs R1R2 de l'essai 3 exposés à 2,8 TIU/mg à partir de 60 kg.

Nos résultats correspondent à une dose réponse interprétable par un modèle linéaire, indiquant que la CMJ des porcs pendant la phase de croissance diminue de 40 g/j et que le GMQ diminue de 32 g/j par TIU supplémentaire de FAT par mg d'aliment. Les données ne sont pas statistiquement adaptées à un modèle linéaire-plateau ou curvilinéaire-plateau qui permettrait de calculer un seuil sans effet de l'exposition aux FAT sur les performances d'engraissement. Cependant, compte tenu de ce qui précède, il apparaît, que la limite de 3 TIU/mg dans l'alimentation des porcs indiquée par Woyengo *et al.* (2017) semble trop élevée. Une teneur maximale de 2,0 TIU de FAT par mg d'aliment devrait permettre de s'assurer d'un effet limité des FAT en engraissement.

L'essai 3 montre un poids plus élevé du pancréas des porcs exposés aux FAT, en lien avec la baisse de rendement carcasse dans les essais 1 et 3. L'effet des FAT sur le poids du pancréas a été principalement rapporté chez le poulet (Clarke et Wiseman, 2005) ou le rat. Elle ne serait généralement pas observée chez le porc (revue de Woyengo *et al.*, 2017).

Une digestion incomplète des protéines conduit à des excès de

**Tableau 4** – Effets de la teneur en FAT sur les performances des porcs de l'essai 3<sup>1</sup>

Paramètres <sup>2,3,4</sup>	Régimes FAT <sup>4</sup> TIU/mg	R1R1 0,73 / 0,71	R1R2 0,73 / 2,78	R2R1 2,79 / 0,71	R2R2 2,79 / 2,78	ETR	Valeur de P
Poids, kg	J8	30,2	30,2	30,5	30,0	1,5	
	J21	37,9	37,3	36,5	36,3	1,5	R <sub>C</sub> *
	J49	64,4 <sup>a</sup>	64,1 <sup>a</sup>	63,7 <sup>ab</sup>	60,0 <sup>b</sup>	3,1	R <sub>C</sub> *
	J98	113,8 <sup>a</sup>	108,9 <sup>ab</sup>	111,9 <sup>ab</sup>	106,5 <sup>b</sup>	4,8	R <sub>F</sub> **
CMJ, g/j	J8-21	1,33 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>	1,26 <sup>ab</sup>	1,22 <sup>b</sup>	0,06	R <sub>C</sub> ***
	J21-49	2,06 <sup>ab</sup>	2,08 <sup>ab</sup>	2,10 <sup>a</sup>	1,89 <sup>b</sup>	0,15	R <sub>C</sub> ×R <sub>F</sub> *
	J49-97	2,70 <sup>ab</sup>	2,67 <sup>b</sup>	2,72 <sup>a</sup>	2,67 <sup>b</sup>	0,04	R <sub>F</sub> **
GMQ, g/j	J8-21	594 <sup>a</sup>	548 <sup>ab</sup>	460 <sup>b</sup>	492 <sup>ab</sup>	96	R <sub>C</sub> **
	J21-49	944 <sup>ab</sup>	957 <sup>a</sup>	972 <sup>a</sup>	843 <sup>b</sup>	77	R <sub>C</sub> ×R <sub>F</sub> *
	J49-97	1027 <sup>a</sup>	933 <sup>b</sup>	1005 <sup>ab</sup>	970 <sup>ab</sup>	65	R <sub>F</sub> *
IC, g/g	J8-21	2,26	2,46	2,93	2,56	0,54	R <sub>C</sub> *
	J21-49	2,19	2,17	2,17	2,24	0,12	
	J49-97	2,64 <sup>a</sup>	2,86 <sup>b</sup>	2,72 <sup>ab</sup>	2,76 <sup>a</sup>	0,17	R <sub>F</sub> *
Poids chaud, kg		91,6 <sup>a</sup>	87,4 <sup>ab</sup>	90,4 <sup>a</sup>	85,1 <sup>b</sup>	3,7	R <sub>F</sub> **
Rendement froid, %		79,0	77,6	78,9	76,7	2,4	R <sub>F</sub> <sup>t</sup>
Taux muscle, %		61,3	60,5	59,7	60,4	1,5	
Poids pancréas, g		106,3	128,9	104,4	118,8	24	R <sub>F</sub> *

<sup>1</sup> Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées pour un effectif final de 7 à 8 porcs pour chaque traitement. L'animal est l'unité expérimentale. <sup>2</sup> Analyse de variance avec l'effet fixe des régimes croissance (R<sub>C</sub>), finition (R<sub>F</sub>), l'interaction et le poids initial (P<sub>0</sub>) comme covariable. <sup>3</sup> Le poids vif d'abattage (P<sub>98</sub>) est ajouté en covariable pour les données de carcasse. <sup>4</sup> Voir Tableau 2.

substrats pouvant faciliter la prolifération de pathogènes tels qu'*Escherichia coli*. L'apparition dans l'essai 2 de maladie de l'œdème, après un intervalle de temps caractéristique de 11 j après l'exposition au soja cru, peut aussi indiquer un rôle des FAT ou des allergènes du soja complémentaire aux stress du changement d'aliment et de logement dans la pathogénèse de cette maladie

## CONCLUSION

Les inhibiteurs de trypsine affectent la consommation alimentaire et l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance et finition. Une teneur limite maximale de 2,0 TIU de FAT par mg d'aliment est proposée. Ce seuil est à prendre en compte

pour la formulation des aliments d'engraissement. Parallèlement, la production de graines européennes moins riches en facteurs antinutritionnels, comme le paramétrage *ad hoc* des lignes de trituration ou cuisson des graines doivent assurer la production de tourteaux de soja ou de graines traitées dont les facteurs antinutritionnels soient dénaturés, tout en préservant la qualité de la protéine.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Françoise Labalette (Terres Univia). L'étude a bénéficié d'un soutien financier du PNDAR du Ministère de l'Agriculture et de la Région Occitanie dans le cadre du projet SojaLoc.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Berger M., Paulais A., Rey M., Rooryck S., Labalette F., Maury P., 2015. Facteurs antitrypsiques de la graine de soja : évaluation de la variabilité génotypique dans une collection de référence ; effet du semis précoce et de la réduction de l'irrigation. OCL, 22, D504.
- Cabrera-Orozco A., Jiménez-Martínez C., Dávila-Ortiz G., 2013. Soybean: non-nutritional factors and their biological functionality. In: Hany A. El-Shemy (Ed), Soybean - Bio-Active Compounds, 387-410. InTechOpen, Rijeka, HR. DOI: 10.5772/52598.
- Clarke E., Wiseman J., 2005. Effects of variability in trypsin inhibitor content of soya bean meals on true and apparent ileal digestibility of amino acids and pancreas size in broiler chicks. Anim. Feed Sci. Tech., 121(1), 125-138.
- Daumas G., 2008. Taux de muscle des pièces et appréciation de la composition corporelle des carcasses. Journées Rech. Porcine, 40, 61-68.
- Guilpart N., Iizumi T., Ben Ari T., Makowski D., 2019. Assessing area suitable for diversification crops: an example on soybean in Europe under climate change using machine learning. In: Proc. European Conference on Crop Diversification, 18-21 Sept. 2019, Budapest, Hungary.
- Halas V., Royer E., Carré P., Bikker P., Quinsac A., Bach Knudsen K.E., 2020. Impact du décorticage et des traitements thermiques du soja sur la valeur nutritionnelle des tourteaux partiellement déshuilés chez le porcelet. Journées Rech. Porcine, 52, 82-86.
- Karr-Lilienthal L.K., Bauer L.L., Utterback P.L., Zinn K.E., Frazier R.L., Parsons C.M., Fahey G.C., 2006. Chemical composition and nutritional quality of soybean meals prepared by extruder/expeller processing for use in poultry diets. J. Agric. Food Chem., 54(21), 8108-8114.
- Lawrence K., Hastad C., Webster M., Goodband R., Tokach M., Nelssen J., Dritz S., 2001. Effects of soybean meal particle size on growth performance of nursery pigs. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports, 56-58. 10.4148/2378-5977.6699.
- Qin G., Ter Elst E.R., Bosch M.W., Van Der Poel A.F.B., 1996. Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. Anim. Feed Sci. Technol., 57, 313-324.
- Terres Univia, 2020. Statistiques Oléagineux et Plantes riches en protéines 2019. <https://www.terresunivia.fr/sites/default/files/articles/publications/marches/terres-univia-statistiques-2019.pdf>.
- Webster M.J., Goodband R.D., Tokach M.D., Nelssen J.L., Dritz S.S., Woodworth J.C., De La Llata M., Said N.W., 2003. Evaluating processing temperature and feeding value of extruded-expeller soybean meal on nursery and finishing pig growth performance. J. Anim. Sci., 81, 2032-40.
- Woyengo T.A., Beltranena E., Zijlstra, R.T., 2017. Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. Anim. Feed Sci. Tech., 233, 76-86.
- Zollitsch W., Wetscherek W., Lettner F., 1992. Einsatz von inländischem Soja expeller in Schweinemastrationen. Die Bodenkultur, 43: 81-95.