



# Effet de la baisse de la teneur en protéine alimentaire sur les performances de croissance, la qualité des produits et le bilan environnemental des porcs à l'engraissement

Léa CAPPELAERE (1), Florence GARCIA-LAUNAY (3), William LAMBERT (2), Aude SIMONGIOVANNI (2),  
Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, rue de l'agriculture, Québec, G1V 0A6, Canada

(2) METEX ANIMAL NUTRITION, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 16 le Clos, 35590 Saint Gilles, France

lea.cappelaere.1@ulaval.ca

## Effet de la baisse de la teneur en protéine alimentaire sur les performances de croissance, la qualité des produits et le bilan environnemental des porcs à l'engraissement

Cet essai visait à évaluer les performances zootechniques et environnementales de baisses de la teneur en protéines brutes (PB) formulées avec de la L-Isoleucine et L-Histidine, peu testées dans la littérature. Trois traitements alimentaires étaient distribués *ad libitum* à 24 cases de trois femelles et trois mâles castrés en quatre phases alimentaires (25-50 kg, 50-80 kg, 80-100 kg et 100-135 kg). Les niveaux de PB des différentes phases étaient de 180, 161, 143 et 126 g/kg pour le témoin. Deux baisses de PB, de 12 et 24 g/kg, ont été formulées pour toutes les phases. Les performances de croissance ont été mesurées par case, les caractéristiques de carcasse collectées à l'abattoir et deux échantillons de longe par case analysés. Une analyse de cycle de vie a été réalisée avec deux contextes d'origine des matières premières (québécois et français). La baisse de PB n'a pas affecté les performances de croissance. L'excrétion d'azote était linéairement réduite de 9,6 % par point de baisse de PB ( $P < 0,001$ ). La composition des carcasses et la couleur, la teneur en gras intramusculaire et le pH de la longe étaient constants mais les pertes en eau ont eu tendance à augmenter avec la baisse de PB ( $P = 0,06$ ). L'impact acidification a été réduit linéairement ( $P < 0,001$ ) avec la baisse de PB. L'impact changement climatique a diminué en contexte français mais a augmenté en contexte québécois ( $P < 0,001$ ). L'utilisation de ressources fossiles et les eutrophisations marine et en eau douce ont augmenté ( $P < 0,001$ ). Une baisse de PB jusque 24 g/kg n'a pas affecté les performances zootechniques mais les bénéfices environnementaux dépendent du contexte de matières premières.

## Effects of reducing dietary crude protein on growth performance, product quality and environmental impacts of fattening pigs

This study aimed at evaluating pig and environmental performances of reducing dietary crude protein (CP) by the inclusion of L-Isoleucine and L-Histidine, which are little documented in the literature. Three dietary treatments were fed *ad libitum* to 24 pens of three barrows and three gilts in a four-phase feeding plan (25-50, 50-80, 80-100 and 100-135 kg, respectively). Control dietary CP levels were 180, 161, 143 and 126 g/kg in the four phases, respectively. Two levels of CP reduction were formulated for the two treatments in all phases: -12 or -24 g/kg. Growth performance was recorded per pen for each phase, carcass parameters were collected at the slaughterhouse for all pigs, and *longissimus dorsi* samples were collected from two pigs per pen to analyse meat quality. Life cycle assessment of the trial was performed assuming two sets of ingredient origins: Québec, Canada, or France. Reducing dietary CP did not influence feed intake, gain or feed conversion ratio. Nitrogen excretion decreased linearly by 9.6 % per percentage point reduction in CP ( $P < 0.001$ ). Reducing dietary CP did not influence carcass composition or meat colour, intramuscular fat or pH, but tended to increase drip loss ( $P = 0.06$ ). Reducing dietary CP linearly decreased the acidification impact ( $P < 0.001$ ), decreased climate change with French ingredients but increased it with Quebecois ingredients ( $P < 0.001$ ) and increased fossil-resources use as well as marine and freshwater eutrophication ( $P < 0.001$ ). Thus, reducing dietary CP by up to 24 g/kg did not influence pig performance or product quality but environmental benefits depended on the origin of ingredients.

## INTRODUCTION

Les stratégies de baisse de la teneur en protéines brutes (PB) des aliments pour porcs à l'engraissement font partie des meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions polluantes de l'élevage (IRPP, 2017). La stratégie repose sur la réduction de l'excrétion azotée et des impacts liés à la fabrication d'aliment, les contributeurs principaux aux impacts environnementaux de l'élevage porcine (Andretta *et al.*, 2021). Cela nécessite un ajustement des apports en acides aminés (AA) pour maintenir les performances de croissance. Néanmoins, la réponse animale aux baisses importantes de la teneur en PB, permises par l'incorporation dans les formules d'isoleucine et d'histidine est moins bien connue (Shurson et Kerr, 2023). Les besoins en histidine et leucine sont mal connus chez le porc en croissance et il n'y a pas de consensus autour d'un besoin en azote (N), protéines ou AA non essentiels (Lenis *et al.*, 1999 ; NRC, 2012 ; Mansilla *et al.*, 2017). Un premier essai, réalisé avec des porcs de 25 à 80 kg logés en groupe en chambres de mesure d'émissions gazeuses, a montré une augmentation de l'ingéré avec la baisse de teneur en PB de permise par l'inclusion de L-Histidine en contexte québécois, menant à un plateau d'ingéré et d'excrétion azotés, limitant l'intérêt environnemental de la stratégie (Cappelaere *et al.*, 2023). Ces résultats étaient à confirmer avec un essai plus proche des conditions commerciales et sur la période totale d'engraissement. Par ailleurs, l'effet de la baisse de la teneur en PB sur la qualité des produits est rarement mesuré et les résultats contrastés. Il a été montré que la composition de carcasse peut être maintenue avec la baisse de teneur en PB (Quiniou *et al.*, 2011 ; Nørgaard *et al.*, 2014 ; Pluk et van Krimpen, 2018 ; Zhao *et al.*, 2019) mais certains essais ont montré une augmentation du dépôt de gras ou une baisse du dépôt de muscle, même quand les régimes sont iso-énergie nette couvrant les besoins en AA (Gonzalo *et al.*, 2023). Peu de données sont disponibles sur l'effet sur la qualité de la viande de baisser la teneur en PB dans des aliments équilibrés en énergie et en AA, mais une augmentation du gras intra-musculaire, des pertes en eau plus importantes ou une modification de la couleur de la viande ont été observés (Apple *et al.* 2017, Liu *et al.*, 2023).

Tester les effets de la stratégie sur les performances, le bilan azoté ou les impacts environnementaux des aliments n'est pas suffisant pour évaluer ses bénéfices environnementaux. L'analyse de cycle de vie (ACV) est la méthodologie appropriée pour synthétiser les différents effets (Silva *et al.*, 2023). Il a été montré que la réduction des impacts environnementaux de la production porcine, surtout le changement climatique, dépend des matières premières utilisées, de leur origine et de leur mode de production (Wilfart *et al.*, 2018 ; Lambert *et al.*, 2023). Ainsi, l'objectif de ce travail était de mesurer expérimentalement l'effet d'une baisse modérée ou importante de la teneur en PB des aliments sur les performances de croissance, la composition de la carcasse, la qualité de la viande et le bilan azoté des porcs à l'engrais, et d'utiliser ces résultats pour effectuer une évaluation environnementale par ACV, en testant l'effet du contexte de matières premières utilisées (Québec ou France).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Essai

#### 1.1.1. Conduite générale

Un essai a été réalisé à la ferme expérimentale du centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD ;

Québec, Canada) avec 72 femelles et 72 mâles castrés croisés Duroc x (Yorkshire x Landrace), élevés en sexes mélangés en cases de poids moyens similaires de trois femelles et trois mâles, et assignés à un des trois traitements alimentaires selon un plan complètement aléatoire. Les porcs ont été élevés de 25 kg jusqu'à l'abattage à un objectif de poids vif (PV) de 130 kg, en trois départs avec un intervalle d'une semaine. Les animaux ont reçu une alimentation *ad libitum* en quatre phases alimentaires avec un changement d'aliment à 50, 80 et 100 kg de PV.

#### 1.1.2. Aliments expérimentaux

Les trois traitements alimentaires correspondaient aux niveaux de teneur en PB actuellement en pratique au Québec (-Opt), à une baisse de la teneur en PB de 12 g/kg (-1,2pt), et de 24 g/kg (-2,4pt) appliquée pendant toutes les phases (Tableau 1). Les baisses de PB étaient réalisées dans des formulations iso-énergie nette et iso-lysine digestible en réduisant l'incorporation de tourteau de soja et en augmentant celle du maïs tout en apportant des AA libres jusqu'à l'isoleucine et l'histidine pour respecter le profil de la protéine idéale du modèle INRAPorc (Van Milgen *et al.*, 2008). La balance électrolytique était maintenue au niveau du témoin dans tous les traitements.

#### 1.1.3. Mesures expérimentales

Les porcs ont été pesés individuellement au début et à la fin de chaque phase d'alimentation pour déterminer le gain moyen quotidien (GMQ). La distribution d'aliment et les refus ont été mesurés pour calculer l'ingéré par case et l'indice de consommation. Un animal par case a été scanné par absorptionnémie biphotonique à rayons x en début et en fin d'essai pour déterminer le dépôt de maigre et de gras et en déduire une équation de fixation de N par kg de gain de poids vif (pas d'effet des traitements). Le bilan azoté a donc été calculé comme suit à partir des performances de croissance :

- N ingéré (g/j) =  $\frac{\sum_{i=1}^4 \text{aliment ingéré en phase } i \text{ (g)}}{\text{durée de l'essai (j)}} / 6,25$
- N retenu (g/j) = 16 % × gain de poids (g/j) / 6,25
- N excrété = N ingéré – N retenu
- Efficacité N = N retenu / N ingéré

Les porcs ont été abattus en abattoir commercial et les données de classification des carcasses ont été recueillies pour tous les porcs : poids de carcasse chaude, épaisseurs de lard dorsal et de muscle mesurés à 7cm de la ligne dorsale entre la 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> côte avec une sonde optique Destron PG-100, rendement en viande maigre (Pomar et Marcoux, 2003). Des échantillons de longe ont été prélevés à l'abattoir le lendemain de l'abattage pour deux porcs par case. Des femelles ont été choisies pour la moitié des cases et des mâles pour l'autre. Les échantillons ont été évalués visuellement immédiatement après prélèvement par une technicienne formée pour noter leur couleur selon l'échelle japonaise et leur niveau de persillage (Porc Canada, 2014). Après 24h de stockage à 5°C, le pH, la perte en eau et les valeurs CIELAB de couleur ont été mesurés. La teneur en protéines (méthode Kjeldahl) et matières grasses (méthode Soxhlet) des échantillons ont également été analysés.

### 1.2. Analyse de cycle de vie

Une ACV a été réalisée à l'échelle de chaque case. Les limites du système ont été fixées à l'atelier d'engraissement, avec le kg de gain de PV comme unité fonctionnelle, en incluant la production des matières premières constituant les aliments, les émissions au bâtiment, au stockage et à l'épandage du lisier, ainsi que les

étapes de transport et la consommation d'énergie en bâtiment. L'étape d'épandage du lisier a été incluse avec une extension de système prenant en compte une économie de fertilisant minéral (75% pour N, 100% pour le phosphore (P)). Seule la différence d'émissions entre une application d'engrais organique et minéral au champ est calculée. Deux contextes d'origine des matières premières ont été pris en compte : France et Québec. Notamment, le tourteau de soja utilisé était américain au Québec et brésilien en France, le second étant associé à de la déforestation contrairement au premier. Les pratiques nutritionnelles et de conduite d'élevage représentaient les pratiques québécoises et n'ont pas été modifiées. Les données ACV associées étaient issues de la base de données GFLI (Global Feed LCA Institute, 2022), complétée par les valeurs EcoAlim issues de la base Agribalyse 3 pour les

micro-ingrédients (Wilfart *et al.*, 2016). Les données d'excrétion de N, P et potassium ont été calculées par différence entre les quantités ingérées et fixées à partir des performances expérimentales, estimées comme indiqué plus haut pour le N et selon les équations du bilan réel simplifié (Dourmad *et al.*, 2015) pour les autres. Ces données ont été utilisées pour calculer les émissions au bâtiment, au stockage et à l'épandage de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub>, NOx et CH<sub>4</sub>, respectivement avec les méthodes EMEP Tier 2, IPCC Tier 2, McAuliffe *et al.* (2017), CITEPA (2021) et Rigolot *et al.* (2010). Les impacts changement climatique (incluant ou non le changement d'utilisation des terres), eutrophisation en eau douce et marine, acidification et consommation de ressources fossiles ont été calculés avec la méthode EF 3.0 (Fazio *et al.*, 2018).

**Tableau 1** – Composition des aliments expérimentaux

Phases	25-50kg			50-80kg			80-100kg			100-130kg		
	-0pt	-1,2pt	-2,4pt	-0pt	-1,2pt	-2,4pt	-0pt	-1,2pt	-2,4pt	-0pt	-1,2pt	-2,4pt
<b>Ingrédients (%)</b>												
Maïs	56,12	59,91	63,92	59,51	63,28	67,29	62,68	66,15	70,15	68,50	72,29	76,30
Blé	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Tourteau de soja	19,00	15,30	11,40	11,30	7,60	3,70	9,70	5,60	1,70	7,60	3,90	-
Drêches de maïs	10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15,0	8,8	9,5	9,5	5,3	5,3	5,3
Graisse animale	1,60	1,10	0,50	1,10	0,60	-	1,10	0,60	-	1,10	0,60	-
L-Lysine sulfate	0,532	0,638	0,750	0,562	0,668	0,782	0,482	0,598	0,710	0,410	0,516	0,628
DL-Méthionine	0,140	0,170	0,202	0,094	0,126	0,156	0,068	0,098	0,128	0,036	0,066	0,098
L-Thréonine	0,190	0,238	0,290	0,176	0,224	0,276	0,150	0,200	0,252	0,120	0,170	0,222
L-Tryptophane	0,044	0,064	0,082	0,052	0,072	0,090	0,040	0,060	0,080	0,032	0,050	0,070
L-Valine	0,064	0,122	0,184	0,054	0,112	0,174	0,038	0,098	0,160	0,020	0,078	0,138
L-Isoleucine	0,010	0,067	0,134	0,023	0,088	0,156	0,016	0,083	0,151	0,010	0,072	0,139
L-Histidine	-	-	0,042	-	-	0,047	-	-	0,046	-	-	0,039
Carbonate de sodium	-	0,184	0,396	0,003	0,191	0,406	0,090	0,285	0,499	0,124	0,312	0,523
Phosphore monocalcique	0,264	0,304	0,348	0,100	0,142	0,186	0,026	0,052	0,096	0,026	0,060	0,104
Carbonate de calcium	1,160	1,172	1,184	1,168	1,180	1,192	1,002	1,024	1,036	0,972	0,982	0,994
Chlorure de sodium	0,470	0,328	0,166	0,454	0,308	0,144	0,404	0,252	0,088	0,388	0,244	0,082
Prémix	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,36	0,36	0,36
<b>Composition nutritionnelle formulée</b>												
Energie nette (MJ/kg)	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,6	10,6	10,6	10,7	10,7	10,7
Balance électrolytique (méq/kg)	153	153	153	126	126	126	120	120	120	110	110	110
Protéines brutes (%)	18,00	16,80	15,59	16,09	14,89	13,69	14,31	13,11	11,91	12,62	11,41	10,20
Lysine digestible (%)	1,07	1,07	1,07	0,94	0,94	0,94	0,82	0,82	0,82	0,70	0,70	0,70
<b>Acides aminés digestibles (% Lysine, valeurs formulées)</b>												
Thréonine	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Méthionine + Cystéine	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Tryptophane	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Valine	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Isoleucine	55	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Leucine	124	117	109	135	126	117	134	125	114	140	128	116
Histidine	35	33	32	36	33	32	36	33	32	38	33	32

### 1.3. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée sous R, avec un modèle linéaire testant l'effet du niveau de baisse de la teneur en PB. L'unité expérimentale est la case pour les performances de croissance, le bilan azoté et les impacts environnementaux calculés par ACV, et le porc pour les données de composition de carcasse et de qualité de la viande. Pour la qualité de la viande un effet « case » aléatoire a été ajouté ainsi qu'un effet « sexe », dont l'interaction avec le niveau de PB a été testée mais non conservée car jamais significative. Pour les ACV, l'effet « origine des matières premières » et son interaction avec le niveau de baisse de teneur en PB ont été inclus au modèle.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances de croissance

Aucun effet significatif de la baisse de la teneur en PB n'a été observé sur l'ingéré, le GMQ ou l'indice de consommation sur la période totale de l'essai (Tableau 2). Les seuls effets significatifs sont observés en phase 1, où l'ingéré quotidien a augmenté avec la baisse de la teneur en PB ( $P = 0,008$ ), entraînant une dégradation de l'indice de consommation ( $P = 0,02$ ) puisque le GMQ n'est pas affecté. Le gain de poids vif a eu tendance à diminuer avec la baisse de la teneur en PB en phase 4 ( $P = 0,056$ ), sans effet sur l'ingéré ou l'indice de consommation.

**Tableau 2** – Effet du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes sur les performances de croissance de porcs à l’engrais

	Baisse de protéine			ETR <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
	-0pt	-1,2pt	-2,4pt		
<b>Ingéré quotidien (kg/j)</b>					
Phase 1	2,06	2,16	2,19	0,09	0,008
Phase 2	3,00	3,11	3,08	0,18	0,38
Phase 3	3,65	3,71	3,55	0,26	0,44
Phase 4	3,92	3,92	3,79	0,21	0,23
Total	3,04	3,14	3,06	0,12	0,72
<b>Gain moyen quotidien (g/j)</b>					
Phase 1	987	988	979	43	0,73
Phase 2	1224	1259	1254	74	0,43
Phase 3	1451	1397	1381	142	0,33
Phase 4	1224	1216	1144	79	0,056
Total	1184	1192	1162	37	0,24
<b>Indice de consommation</b>					
Phase 1	2,09	2,19	2,24	0,12	0,019
Phase 2	2,45	2,47	2,45	0,09	0,99
Phase 3	2,54	2,66	2,58	0,17	0,64
Phase 4	3,21	3,24	3,31	0,24	0,40
Total	2,55	2,61	2,63	0,10	0,11
<b>Poids vif (kg)</b>					
Initial	24.4	25.0	24.2	1.0	0.74
Fin phase 1	51.7	52.3	51.3	1.7	0.65
Fin phase 2	79.4	80.9	79.7	2.7	0.84
Fin phase 3	98.3	99.0	97.5	3.2	0.63
Fin phase 4	121.8	123.2	119.7	3.6	0.26

<sup>1</sup>Ecart-type résiduel. <sup>2</sup>Test F de la significativité de l’effet linéaire du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes

**Tableau 3** – Effet du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes (PB) sur les caractéristiques de la longe

	Baisse de protéine			ETR <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>		
	-0pt	-1,2pt	-2,4pt		PB	Sexe	
Couleur	L*	53,7	53,4	55,3	3,2	0,19	0,52
	a*	7,4	7,3	7,6	1,4	0,67	0,97
	b*	5,7	5,5	6,3	1,4	0,27	0,20
Echelle japonaise	3,1	3,1	2,9	0,5	0,30	0,78	
Score de persillage	2,8	3,1	3,0	0,5	0,47	0,13	
pH 24h	5,68	5,65	5,64	0,11	0,32	0,82	
Pertes en eau (%)	3,92	4,28	5,40	1,99	0,06	0,39	
Protéine brute (% MS)	82,59	82,57	80,31	3,39	0,12	0,93	
Gras brut (% MS)	12,49	13,33	13,71	2,68	0,28	0,096	

<sup>1</sup> Ecart-type résiduel. <sup>2</sup> Tests F des effets de la teneur en PB et du sexe dans un modèle mixte incluant l’effet linéaire du niveau de baisse de la teneur en PB, un effet fixe du sexe et un effet aléatoire de la case.

**Tableau 4** – Effet du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes (PB) sur les impacts environnementaux par kg de gain de poids vif en engraissement selon le contexte d’origine des matières premières (MP)

Contexte des MP	Québec			France			ETR <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>		
	-0pt	-1,2pt	-2,4pt	-0pt	-1,2pt	-2,4pt		PB	MP	PB x MP
<b>Impacts par kg de gain de poids vif</b>										
Changement climatique (kg CO <sub>2</sub> éq)	1,97	2,10	2,26	2,77	2,56	2,33	0,08	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Changement climatique sans changement d’utilisation des terres (kg CO <sub>2</sub> éq)	1,84	1,98	2,15	1,88	1,95	2,02	0,07	< 0,001	0,16	0,002
Acidification (mol H <sup>+</sup> )	0,119	0,116	0,110	0,109	0,103	0,096	0,004	< 0,001	< 0,001	0,242
Eutrophisation, eau douce (kg Péq)	0,0853	0,0910	0,0960	0,0589	0,0613	0,0630	0,0028	< 0,001	< 0,001	0,002
Eutrophisation, marine (kg Néq)	0,0197	0,0206	0,0213	0,0148	0,0151	0,0151	0,0006	< 0,001	< 0,001	0,004
Utilisation des ressources, énergies fossiles (MJ)	9,08	10,4	12,1	9,39	10,2	11,1	0,38	< 0,001	0,059	< 0,001

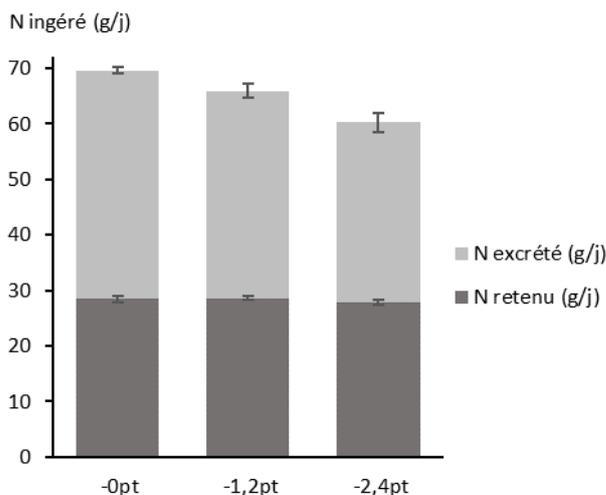
<sup>1</sup> Ecart-type résiduel. <sup>2</sup>Tests F des effets principaux et de l’interaction dans une ANOVA incluant le niveau de baisse de la teneur en PB et le contexte d’origine des matières premières.

**2.2. Composition de carcasse et qualité de la viande**

Aucun effet significatif de la baisse de la teneur en PB n’a été observé sur les caractéristiques de carcasse : poids de carcasse (108,9 vs. 110,4 vs. 107,3 ± 8,3 kg respectivement pour les traitements -0pt, -1,2pt et -2,4pt), épaisseur de lard dorsal (19,2 vs. 22,4 vs. 19,6 ± 6,1 mm), épaisseur de muscle (63,7 vs. 67,2 vs. 63,4 ± 14,3 mm respectivement pour les traitements -0pt, -1,2pt et -2,4pt) et pourcentage de maigre de la carcasse (56,0 vs. 59,5 vs. 57,3 ± 11,7 % respectivement pour les traitements -0pt, -1,2pt et -2,4pt). La couleur, le pH et la teneur en gras de la viande n’ont pas été affectées par la baisse de la teneur en PB (Tableau 3). Le seul effet observé sur les caractéristiques de la viande est une tendance (P < 0,10) à l’augmentation de la perte en eau avec la baisse de la teneur en PB.

**2.3. Bilan azoté**

L’ingéré azoté a été réduit linéairement avec la baisse de la teneur en PB (P < 0,001 ; Figure 1), de 4,5 g/j par point de réduction de la teneur en PB, soit une réduction de 6%. L’azote retenu dans le gain de poids vif n’a pas été affecté par la baisse de la teneur en PB (P = 0,22). Ainsi, l’excrétion azotée a été réduite linéairement (P < 0,001) de 4,3 g/j par point de réduction de la teneur en PB, soit une réduction de 9,6%. L’efficacité azotée des porcs a été améliorée de 2,5 points de pourcentage par point de baisse de la teneur en PB (P < 0,001), passant de 38,7% dans le témoin à 41,0% et 44,7% pour les traitements -1,2pt et -2,4pt respectivement.



**Figure 1** – Effet de la baisse de la teneur en protéines brutes sur le bilan azoté des porcs à l’engrais

## 2.4. Analyse de cycle de vie

Pour tous les impacts sauf l'acidification, l'interaction entre la baisse de teneur en PB et le contexte d'origine des matières premières était significative ( $P < 0,05$ ; Tableau 4). L'acidification était réduite linéairement de 3,4% par point de baisse de la teneur en PB ( $P < 0,001$ ) et était plus élevée avec des matières premières québécoises (+ 0,011 mol H<sup>+</sup>/kg gain PV;  $P < 0,001$ ). Le changement climatique était plus élevé pour le témoin avec un contexte québécois et augmentait avec la baisse de la teneur en PB mais il était réduit en contexte français (+6,2 vs. -6,6% par point de baisse de teneur en PB;  $P < 0,001$ ), résultant en un niveau d'impact équivalent entre contextes pour le traitement -2,4pt. Quand le changement climatique lié au changement d'utilisation des terres était exclu, le niveau d'impact était similaire entre les contextes et le changement climatique augmentait avec la baisse de la teneur en PB, plus rapidement en contexte québécois qu'en contexte français (+6,8 vs. +2,9% par point de baisse de teneur en PB;  $P = 0,002$ ). Les eutrophisations en eau douce et marine étaient plus élevées dès le témoin en contexte québécois et augmentaient plus rapidement avec la baisse de la teneur en PB qu'en contexte français (+5,2 vs. +2,9% et +3,4 vs. +0,7% respectivement par point de baisse de teneur en PB;  $P < 0,05$ ). L'utilisation des ressources fossiles augmentait également plus rapidement avec la baisse de la teneur en PB en contexte québécois (+14 vs. +7,5% par point de baisse de teneur en PB;  $P < 0,001$ ).

## 3. DISCUSSION

Aucun effet de la baisse de la teneur en PB n'a été observé sur les performances de croissance des porcs sur la période totale d'engraissement, même avec un ratio lysine digestible/PB de 6,8%, contrairement à ce qui a pu être observé par Gonzalo *et al.* (2023) ou Soto *et al.* (2019) mais en ligne avec Zhao *et al.* (2019) ou Morales *et al.* (2015). Cependant, l'ingéré a augmenté de 5% en phase 1 entre le témoin et les traitements -1,2pt et -2,4pt, sans effet sur le GMQ. Les jeunes animaux semblent donc plus sensibles à la baisse de la teneur en PB, avec de potentielles carences à explorer. L'augmentation d'ingéré avec le traitement -2,4pt, menant à un plateau d'ingéré N, observé dans l'essai en chambres de mesures d'émissions gazeuses (Cappelaere *et al.*, 2023) n'a pas été confirmée par cet essai, où l'augmentation d'ingéré alimentaire était plus faible, observée uniquement en phase 1, et linéaire entre nos traitements, menant tout de même à une baisse linéaire de l'ingéré N avec la baisse de la teneur en PB en phase 1 (59,3 vs. 58,1 vs. 54,7 g/j). Les niveaux de performances étaient plus faibles dans le présent essai et plus proches des performances commerciales sur lesquelles nos niveaux nutritionnels étaient basés. Ainsi, les animaux surperformant en conditions expérimentales sont plus sensibles à la baisse de la teneur en PB. Nos résultats indiquent qu'une baisse de la teneur en PB de 24 g/kg serait possible en conditions pratiques québécoises sans affecter les performances de croissance.

La composition de carcasse n'a pas été affectée, même avec une forte baisse de la teneur en PB, confirmant que le dépôt de gras sous-cutané n'augmente pas quand les performances de croissance sont maintenues et que les aliments sont formulés

iso-énergie nette (Quiniou *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2023). La couleur et le contenu en gras intra-musculaire de la longe n'ont pas été affectés par les traitements. On ne retrouve donc pas l'augmentation du gras intra-musculaire, recherchée pour la qualité de la viande, observée dans différents essais, même avec une formulation iso-énergie nette couvrant les besoins en AA (Apple *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2023). Les pertes en eau ont en revanche eu tendance à augmenter, ce qui avait déjà été observé par Liu *et al.* (2023) et Zhang *et al.* (2016). Cet effet pourrait s'expliquer par la modification du profil en AA de la viande avec la baisse de teneur en PB, changeant ses propriétés physico-chimiques (d'Astous-Pagé *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2023).

La rétention azotée des porcs n'ayant pas été affectée par la baisse de la teneur en PB, l'excrétion azotée est réduite linéairement. L'acidification, principalement liée aux émissions azotées de la gestion du lisier, est donc également réduite linéairement. Les eutrophisations marine et des eaux douces sont augmentées car i) avec l'utilisation de l'extension de système avec économie de fertilisant minéral, le lessivage au champ n'est pas réduit puisque le N et le P non excrétés sont remplacés par des fertilisants minéraux avec un lessivage similaire et ii) l'impact de la production d'aliment augmente en raison de l'augmentation de l'incorporation de maïs. Le changement climatique a été réduit en contexte français grâce à la moindre incorporation de tourteau de soja brésilien associé à de la déforestation alors qu'en contexte québécois avec un soja américain à faible impact, le changement climatique augmente avec la baisse de la teneur en PB, puisque le maïs a un impact élevé. Quand le changement d'utilisation des terres est exclu, le changement climatique augmente avec la baisse de la teneur en PB dans les deux contextes. De manière générale, ces impacts augmentent plus vite en contexte québécois à cause de l'augmentation de l'utilisation du maïs local aux impacts élevés. L'utilisation de ressources fossiles a augmenté avec la baisse de la teneur en PB, en lien avec l'augmentation de l'utilisation d'AA libres et avec la diminution de l'économie de fertilisant minéral (baisse de l'excrétion N). Cette augmentation était plus lente en contexte français grâce à l'utilisation en partie d'AA locaux.

## CONCLUSION

Cet essai a montré que la teneur en PB des aliments pour porcs à l'engrais pouvait être réduite de 24 g/kg avec des pratiques nutritionnelles québécoises sans effet sur les performances de croissance et la composition de carcasse et avec un impact mineur sur la qualité de la viande. L'excrétion azotée peut être efficacement réduite par cette stratégie, permettant de réduire l'impact acidification de la production porcine. La réduction de l'impact changement climatique n'est en revanche pas garantie et dépend de la possible réduction de l'utilisation de matières premières associées à la déforestation, qui ne se produit pas en contexte québécois alors que c'est le cas dans le contexte français. Telles qu'évalués ici, les impacts eutrophisation augmentent avec la baisse de la teneur en PB mais l'évaluation de ces impacts nécessitera de mieux qualifier et quantifier l'effet de la stratégie sur l'utilisation de fertilisant minéral.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andretta I., Hickmann F.M.W., Remus A., Franceschi C.H., Marian A.B., Orso C., Kipper M., Létourneau-Montminy M.-P., Pomar C., 2021. Environmental impacts of pig and poultry production: insights from a systematic review. *Front. Vet. Sci.*, 8, 750733.
- Apple J.K., Maxwell C.V., Bass B.E., Yancey J.W.S., Payne R.L., Thomson J., 2017. Effects of reducing dietary crude protein levels and

replacement with crystalline amino acids on growth performance, carcass composition, and fresh pork quality of finishing pigs fed ractopamine hydrochloride. *J. Anim. Sci.*, 95, 4971–4985.

- Cappelaere L., Larios D., Lambert W., Godbout S., Garcia-Launay F., Létourneau-Montminy M.-P., 2023. Effet de la baisse de la teneur en protéines des aliments pour porcs en croissance sur les performances de croissance, les rejets azotés et les émissions gazeuses au bâtiment. *Journées Rech. Porcine*, 55, 249-254.
- CITEPA, 2021. Rapport OMINEA – 18<sup>ème</sup> édition. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Paris, 1044 p.
- D'Astous-Pagé J., Gariépy C., Blouin R., Cliche S., Sullivan B., Fortin F., Palin M.-F., 2017. Carnosine content in the porcine longissimus thoracis muscle and its association with meat quality attributes and carnosine-related gene expression. *Meat Sci.*, 124, 84-94.
- Dourmad J.Y. (coord.), Levasseur P. (coord.), Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2015. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, Paris, 26 p.
- EMEP/EEA. 2019. Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (3. B Manure Management), European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.
- Fazio S., Biganzioli F., De Laurentiis V., Zampori L., Sala S., Diaconu E., 2018. Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0, EUR29600 EN, European Commission, Ispra, ISBN 978-92-79-98584-3, doi:10.2760/002447, PUBSY No. JRC114822
- Global Feed LCA Institute, 2022. GFLI Database of Animal Feed Production. LCA Feed database. <https://globalfeedlca.org/gfli-database/>
- Gonzalo E., Simongiovanni A., De Cuyper C., Ampe B., Aluwe M., Lambert W., Millet S., 2023. Effect of reducing dietary protein content on performance and environmental impact of pig production. In: Proc. of the 74<sup>th</sup> EAAP Annual Meeting", Lyon, France, p 990.
- IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10: emissions from livestock and manure management). The Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, Switzerland, 207 p.
- IRPP, 2017. Best Available Techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 898 p.
- Lambert W., Cappelaere L., Le Cour Grandmaison J., Simongiovanni A., Létourneau-Montminy M.-P., 2023. Revue de l'influence de la nutrition protéique sur l'impact changement climatique de la production porcine : état des lieux et perspectives. *Journées Rech. Porcine* 55, 261-268.
- Lenis N.P., van Diepen H.T.M., Bikker P., Jongbloed A. W., van der Meulen J., 1999. Effect of the ratio between essential and nonessential amino acids in the diet on utilization of nitrogen and amino acids by growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 77(, 1777–1787.
- Liu S., Xie J., Fan Z., Ma X., Yin Y., 2023. Effects of low protein diet with a balanced amino acid pattern on growth performance, meat quality and cecal microflora of finishing pigs. *J. Sci. Food Agric.*, 103, 957-967.
- Mansilla W.D., Htoo J.K., de Lange C.F.M., 2017. Nitrogen from ammonia is as efficient as that from free amino acids or protein for improving growth performance of pigs fed diets deficient in nonessential amino acid nitrogen. *J. Anim. Sci.*, 95, 3093–3102.
- McAuliffe G.A., Takahashi T., Mogensen L., Hermansen J.E., Sage C.L., Chapman D.V., Lee M.R.F., 2017. Environmental trade-offs of pig production systems under varied operational efficiencies. *J. Clean Prod.*, 165, 1163–1173.
- Morales A., Araiza B., Castillo G., Arce N., Htoo J.K., Cervantes M., 2015. Low-protein amino acid-supplemented diets for growing pigs: Effect on expression of amino acid transporters, serum concentration, performance, and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 93, 2154-2164.
- Nakai H., Saito F., Ikeda T., Ando S., Komatsu A., 1975. Standard models of pork-colour. *Bull. Nat. Inst. Animal Indust. Chiba, Japan.* 29:69-74.
- Nørgaard J.V., Hansen M. J., Soumeh E. A., Adamsen A. P. S., Poulsen H. D., 2014. Effect of protein level on performance, nitrogen utilisation and carcass composition in finisher pigs. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.*, 64, 123–129.
- NRC, 2012. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition. The National Academies Press, Washington, DC.
- Pluk P., van Krimpen M., 2018. Effect of reducing dietary crude protein in hog finisher barrows and gilts on technical performance. Wageningen Livestock Research, Report 1111, 50 pp.
- Pomar C. et Marcoux M., 2003. Comparing the Canadian pork lean yields and grading indexes predicted from grading methods based on Destron and Hennessy probe measurements. *Can. J. Anim. Sci.*, 83, 451-458.
- Porc Canada, 2014. Normes canadiennes de qualité du porc pour la couleur et le persillage. Porc Canada, Ottawa, Canada.
- Quiniou N., Primot Y., Peyronnet C., Quinsac A., 2011. Des aliments porcs moins riches en protéines et formulés à base de tourteau de colza et d'acides aminés de synthèse, dont la L-Valine, permettent de réduire le recours au tourteau de soja. *Journées Rech. Porcine*, 43, 135–136.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Béline F., Paillat J. M., Dourmad, J. Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413–1424.
- Shurson G. et Kerr B., 2023. Challenges and opportunities for improving nitrogen utilization efficiency for more sustainable pork production. *Front. Anim. Sci.*, 4, 1204863.
- Silva J.P., Giehl C.J., Cardinal K.M., Andretta I., Ribeiro A.M.L., 2023. Different life cycle assessment methods and causes of variation in estimates of global warming in chicken and pork production systems: A critical systematic review. *Livest. Sci.*, 276, 105320.
- Soto J.A., Tokach M., Dritz S., Woodworth J., Derouchey J., Goodband R., Wu F., 2019. Optimal dietary standardized ileal digestible lysine and crude protein concentration for growth and carcass performance in finishing pigs weighing greater than 100 kg. *J. Anim. Sci.*, 97, 1701-1711.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.-Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 387-405.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: A Dataset of Environmental Impacts of Feed Ingredients Used in French Animal Production. *PLoS One*, 11, e0167343.
- Wilfart, A., Dusart, L., Méda, B., Gac, A., Espagnol, S., Morin, L., Dronne, Y., Garcia-Launay, F. 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. *INRA Productions Animales* 31, 289-306.
- Xu D., Wang Y., Jiao N., Qiu K., Zhang X., Wang L., Wang L., Yin J., 2020. The coordination of dietary valine and isoleucine on water holding capacity, pH value and protein solubility of fresh meat in finishing pigs. *Meat Sci.*, 163, 108074.
- Zhang S., Chu L., Qiao S., Mao X., Zeng X., 2016. Effects of dietary leucine supplementation in low crude protein diets on performance, nitrogen balance, whole-body protein turnover, carcass characteristics and meat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 87, 911-920.
- Zhao Y., Tian G., Chen D., Zheng P., Yu J., He J., Mao X., Huang Z., Luo Y., Luo J., & Yu B., 2019. Effect of different dietary protein levels and amino acids supplementation patterns on growth performance, carcass characteristics and nitrogen excretion in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 10, 75.