

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

Léa CAPPELAERE (1), Dalila LARIOS (2), William LAMBERT (3), Stéphane GODBOUT (2), Florence GARCIA-LAUNAY (4),
Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada

(2) IRDA, 700 rue Einstein, Québec, G1P 3W8, Canada

(3) METEX NØØVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

(4) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

lea.cappelaere.1@ulaval.ca

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

La baisse de la teneur en protéines des aliments permet de réduire l'excrétion et les émissions azotées des porcs. Néanmoins, les baisses très importantes de protéines avec un profil équilibré en acides aminés ont été peu explorées. Cet essai avait pour objectif d'évaluer les effets d'une baisse importante de la teneur en protéines sur les performances de croissance, la balance azotée calculée par bilan ou mesure de l'excrétion et les émissions gazeuses. Un total de 48 porcs de 28 kg de poids vif a été réparti dans 12 chambres. Trois traitements alimentaires (témoin, -1,2pt, -2,4pt) ont été appliqués apportant respectivement 18,1, 16,9 et 15,7% de protéines en phase 1 (28-48kg) et 16,1, 15,0 et 13,8% en phase 2 (48-80kg). Le gain, l'ingéré et l'indice de consommation ont été mesurés pour chaque phase. La composition corporelle a été analysée par radiographie par absorption bi-photonique à rayons X (DXA) sur deux animaux par chambre en début et en fin d'essai. La rétention azotée ainsi mesurée a été utilisée pour calculer le bilan azoté. Le volume de lisier et sa composition, et les émissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et de méthane ont été mesurés. Ces mesures ont été utilisées pour calculer l'azote excrété. Le gain de poids vif, l'indice de consommation et l'efficacité azotée ont été améliorés entre témoin et -1,2pt ($P < 0,05$) mais ne différaient pas significativement entre -1,2pt et -2,4pt. Les émissions de méthane et d'ammoniac ont été réduites avec la baisse de la teneur en protéines ($P < 0,05$) mais pas celles de N_2O . La composition du lisier n'a pas été significativement affectée. Cet essai a identifié un plateau de la réduction de l'excrétion et des émissions azotées avec la baisse de la teneur en protéines qui sera à explorer dans des conditions plus proches de la pratique.

Effects of low-crude-protein diets on growing pig performance, the nitrogen balance and emissions in the barn

Dietary crude protein (CP) reduction reduces nitrogen (N) excretion and emissions in fattening pigs. However, little literature exists on very low CP diets with a balanced amino acid profile. This trial aimed to evaluate effects of a large reduction in CP on growth performance, the N balance (calculated from performance or slurry and emission data) and gaseous emissions. Forty-eight pigs were allocated to 12 chambers at 28 kg. Three dietary treatments (control, -1.2pt, -2.4pt) were used, with a CP content respectively of 18.1%, 16.9% and 15.0% in phase 1 (28-48 kg) and 16.1%, 15.0% and 13.8% in phase 2 (48-80 kg). Gain, feed intake and feed conversion ratio were recorded for each phase. Body composition was analysed by two-photon X-ray absorptiometry (DXA) in two animals per chamber at the beginning and end of the trial. The N retention measured was used to calculate the N balance. Slurry volume and composition and ammonia, methane and nitrous oxide emissions were measured. These measures were used to calculate N excretion. Daily gain, feed conversion ratio and N efficiency improved from the control to -1.2pt treatment ($P < 0.05$) but remained the same from the -1.2pt to -2.4pt treatment. Methane and ammonia emissions were reduced with CP reduction ($P < 0.05$), but nitrous oxide emissions were not. Slurry composition was not significantly impacted. This trial identified a plateau in N excretion and emissions reduction with a very low CP diet, to be further explored in more practical settings.

INTRODUCTION

L'élevage porcin contribue à divers impacts environnementaux comme le changement climatique, l'eutrophisation des eaux et l'acidification des sols (de Vries et de Boer, 2010). Ces impacts sont majoritairement liés à la production des aliments et la gestion des effluents (Andretta *et al.*, 2021). La baisse de la teneur en protéines des aliments est une stratégie reconnue en Europe (IRPP, 2017) pour réduire les impacts de la production porcine, et elle est aussi progressivement appliquée dans d'autres contextes, comme en Amérique du Nord. En plus de réduire les impacts liés à la production d'aliment, cette stratégie permet de réduire efficacement l'excrétion azotée à l'origine d'une part importante des impacts de la gestion des effluents, sans affecter les performances si les régimes sont équilibrés grâce à l'incorporation d'acides aminés (AA) libres (Cappelaere *et al.*, 2021a). Les effets de la baisse de la teneur en protéines sur les performances des animaux, leur bilan azoté et leurs émissions ont été largement étudiés et solidement quantifiés (Wang *et al.*, 2018 ; Cappelaere *et al.*, 2021b ; Cappelaere *et al.*, 2022). La disponibilité sur le marché de nouveaux AA (Leucine, Isoleucine, Histidine) permet de baisser la teneur en protéines à des niveaux peu explorés et dont les effets sur les performances sont peu connus. On peut aussi s'interroger sur la linéarité de la réduction de l'excrétion azotée et des émissions, d'autant plus si les performances sont affectées. De plus, peu d'essais combinent à la fois des mesures des performances et de bilan azoté. Enfin, l'effet de la stratégie sur certaines émissions, comme le N₂O est également moins

documenté. Cet essai avait donc pour objectif d'évaluer les effets d'une baisse importante de la teneur en protéines permise par l'isoleucine et l'histidine sur les performances des animaux, la balance azotée et les émissions gazeuses au bâtiment.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et traitements

Un essai de 5 semaines en chambre de mesures d'émissions gazeuses a été mené au laboratoire BABE (Bilan Agroenvironnemental des Bâtiments d'Élevage) de l'IRDA à Deschambault (Québec, Canada). Ce bâtiment est composé de 12 chambres de 1,2 m par 2,4 m disposant chacune d'une fosse à lisier individuelle de 0,8 m³, sous un caillebotis intégral en béton. Quarante-huit porcs mâles de père Duroc et de mère Yorkshire x Landrace d'un poids initial moyen de 28 kg ont été répartis dans les 12 chambres selon un dispositif en blocs aléatoires complet. Les chambres ont été affectées à un des trois traitements alimentaires. Le témoin correspond aux pratiques actuelles québécoises. Des baisses de la teneur en protéines de 12 et 24 g/kg ont été réalisées respectivement dans les traitements -1,2pt et -2,4pt, en réduisant l'incorporation de tourteau de soja et en augmentant celle de maïs (Tableau 1). Deux phases d'alimentation ont été étudiées (28-48kg, 48-80kg), avec une distribution ad libitum. Les acides aminés libres jusqu'à l'isoleucine et l'histidine ont été utilisés pour couvrir les besoins en acides aminés essentiels des animaux, selon le profil en pratique au Québec (Table 1).

Tableau 1 – Composition des aliments expérimentaux selon la période d'engraissement

Phases	28-48 kg			48-80 kg		
	Traitements	témoin	-1,2pt	-2,4pt	témoin	-1,2pt
Ingrédients (%)						
Maïs	57,17	60,91	64,87	60,47	63,77	67,65
Blé	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Tourteau de soja	18,20	14,50	10,60	11,10	6,80	3,00
Drêches	10,00	10,00	10,00	14,00	15,00	15,00
Gras	1,10	0,60	0,00	1,10	0,60	0,00
L-Lysine Sulfate	0,79	0,95	1,11	0,82	0,99	1,15
DL-Méthionine	0,16	0,19	0,23	0,11	0,14	0,18
L-Thréonine	0,22	0,27	0,32	0,20	0,25	0,30
L-Tryptophane	0,05	0,07	0,09	0,05	0,07	0,09
L-Valine	0,08	0,14	0,20	0,07	0,13	0,19
L-Isoleucine	0,02	0,07	0,14	0,03	0,10	0,16
L-Histidine	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,05
Premix et minéraux	2,22	2,31	2,40	2,06	2,15	2,22
Composition nutritionnelle formulée						
Protéines brutes (%)	18,08	16,88	15,68	16,14	14,96	13,79
Energie nette (MJ/kg)	10,33	10,34	10,32	10,45	10,45	10,44
Lysine digestible (%)	1,07	1,07	1,07	0,94	0,94	0,94
Thréonine digestible (% Lys)	66	66	66	66	66	66
Méthionine + Cystéine digestible (% Lys)	58	58	58	58	58	58
Tryptophane digestible (% Lys)	19	19	19	19	19	19
Valine digestible (% Lys)	67	67	67	67	67	67
Isoleucine digestible (% Lys)	55	54	54	54	54	54
Leucine digestible (% Lys)	125	117	109	135	126	117
Histidine digestible (% Lys)	35	32	32	35	33	32

1.2. Mesures et analyses

Pour chaque phase d'alimentation, la croissance des animaux et l'ingéré brut par chambre ont été mesurés et l'indice de consommation par chambre a été calculé. Deux porcs par chambre, choisis aléatoirement, ont été scannés par

radiographie par absorption bi-photonique à rayons X (DXA) en début et en fin d'essai, afin de mesurer l'évolution de la composition corporelle. La consommation d'eau par chambre a été mesurée en continu. Tout au long de l'essai, un échantillon d'air a été prélevé dans les chambres toutes les 15 minutes à tour de rôle (un prélèvement par chambre toutes les 3h) et

analysé automatiquement. Un chromatographe en phase gazeuse a mesuré la concentration en CH₄ grâce un détecteur à flamme ionisante et celle en CO₂ et N₂O grâce à un capteur à capture d'électrons. La concentration en NH₃ a été mesurée avec analyseur à absorption infrarouge non dispersif. Le débit de ventilation était enregistré en continu pour obtenir le débit des émissions. En fin d'essai, la quantité totale de lisier produite par chambre a été mesurée et sa composition a été analysée : pH, matière sèche et concentrations en N, N ammoniacal, phosphore. Les aliments ont été analysés pour valider le niveau de protéines et d'acides aminés totaux.

1.3. Calculs et analyses statistiques

Le contenu protéique et lipidique des animaux scannés a été calculé à l'aide des équations suivantes (Pomar et Rivest, 1996) utilisant la quantité de maigre et de gras mesurée par le scan :

- Protéines corporelles (kg) = -1,384 + 0,216 x maigre (kg)
- Lipides corporels (kg) = 2,825 + 1,009 x gras (kg)

Les dépôts de protéines et de lipides pendant l'essai ont été calculés pour les animaux scannés par différence entre le contenu corporel à J0 et J35. Afin d'établir une équation pour calculer le dépôt protéique des animaux non scannés, une régression linéaire du dépôt protéique en fonction du gain de poids entre J0 et J35 a été appliquée. L'effet traitement sur cette relation a été testé mais il n'était pas significatif. L'équation obtenue a été appliquée à tous les porcs pour obtenir le dépôt protéique par salle :

$$\text{Dépôt protéique (kg)} = 15,6 \% \times \text{gain de poids (kg)}$$

$$(N = 20, P < 0,001 ; R^2 \text{ ajusté} = 99,52\%)$$

Le bilan azoté a été calculé à partir des performances des animaux (« bilan calculé ») :

- Ingéré N = ingéré x teneur en protéines de l'aliment / 6,25
- Dépôt N_{perf} = dépôt protéique / 6,25
- Excrétion N_{perf} = ingéré N – dépôt N_{perf}
- Excrétion N fécale_{perf} = (1 - digestibilité N) x ingéré N
- Excrétion N urinaire_{perf} = excrétion N totale – fécale

Il a aussi été calculé à partir des collectes totales du lisier des fosses et mesures d'émissions (« bilan par collecte ») :

- Excrétion N_{collecte} = volume de lisier x concentration N + émissions N-NH₃ et N-N₂O
- Excrétion N urinaire_{collecte} = volume de lisier x concentration N-NH₃ + émissions N-NH₃ et N-N₂O
- Dépôt N_{collecte} = Ingéré N – Excrétion N_{collecte}

Les résultats ont été analysés sous Minitab (2019). Les données de scan ont été analysées avec un modèle mixte incluant un effet traitement et un effet chambre aléatoire. Les performances, bilans azotés, consommation d'eau et émissions gazeuses ont été analysées avec un modèle mixte incluant des effets fixes du traitement, de la phase et leur interaction, et un effet aléatoire de la chambre. Les résultats de volume et de composition de lisier ont été analysés avec un modèle ANOVA avec le traitement comme effet fixe.

2. RESULTATS

2.1. Performances de croissance, composition de carcasse, bilan azoté calculé

La baisse de la teneur en protéines n'a pas eu d'impact sur l'ingéré (Tableau 2). Néanmoins, numériquement, il a

fortement augmenté (+10%) en première phase avec le traitement -2,4pt. En deuxième phase, l'ingéré était beaucoup plus variable pour le traitement témoin ($P < 0,05$; test de Levene) et on observait également une augmentation numérique de l'ingéré avec le traitement -2,4pt (+8%). Le gain de poids vif a été significativement amélioré avec la baisse de la teneur en protéines dans les deux phases ($P = 0,007$), le traitement -1,2pt étant celui qui performait le mieux. L'indice de consommation était affecté différemment par la baisse de protéines selon les phases (interaction, $P = 0,001$). En phase 1, il s'améliorait avec le traitement -1,2pt et était dégradé numériquement avec le traitement -2,4pt, qui restait plus performant que le témoin. En phase 2, l'indice de consommation ne différait pas entre les lots témoin et -1,2pt mais il était fortement dégradé pour le lot -2,4pt.

Les résultats des scans n'ont pas montré d'effet de la baisse de teneur en protéines sur la composition corporelle initiale, finale, ni sur le dépôt en termes de gras, maigre et azote. La rétention N_{perf}, calculée à partir de ces résultats, était donc affectée par la baisse de protéines de la même manière que le gain de poids ($P = 0,007$). L'ingéré N était réduit numériquement dans les deux phases entre les lots témoin et -1,2pt ($P = 0,046$) et ne différait pas entre les lots -1,2pt et -2,4pt, en raison de l'augmentation de l'ingéré. Cette différence entre traitements était significative en phase 2 mais pas en phase 1. Une amélioration de 10 points de l'efficacité azotée entre témoin et -1,2pt a donc été observée sur la période totale d'essai, mais on atteignait un plateau entre les traitements 1,2pt et -2,4pt ($P = 0,001$). Le plafonnement de l'amélioration de l'efficacité azotée menait également à un plateau sur la réduction de l'excrétion azotée sous forme urinaire (excrétion N urinaire_{perf}), fortement réduite entre témoin et -1,2pt ($P < 0,001$), mais pas au delà.

2.2. Emissions

Ramenées au kg de gain de poids vif, les émissions de méthane et d'ammoniac étaient affectées par la baisse de teneur en protéines différemment entre les deux phases (Tableau 2, $P = 0,001$). Pour le méthane, les émissions étaient plus élevées avec le traitement témoin en phase 1, et elles étaient stables entre traitements pour la phase 2. Ces effets s'expliquent principalement par l'indice de consommation. Les émissions d'ammoniac étaient divisées par deux entre le traitement témoin et les traitements -1,2pt et -2,4pt en phase 1. En phase 2, les émissions n'étaient pas significativement différentes entre traitements. Aucun effet n'a été relevé sur les émissions de N₂O, beaucoup plus faibles et variables (Figure 1). Une baisse importante des émissions de NH₃ a été observée pour tous les traitements dans les jours suivant le changement de phase, ce qui peut s'expliquer par une meilleure adéquation entre besoins et apports nutritionnels en début de phase, réduisant les excès et donc les émissions.

Concernant les facteurs d'émission, l'interaction entre phase et teneur en protéines a un effet significatif sur la part de l'azote urinaire émise sous forme d'ammoniac ($P = 0,023$). En phase 1, elle n'a pas été affectée par la baisse de teneur en protéines, alors qu'en phase 2, elle augmente quand la teneur en protéines diminue, surtout pour le traitement -1,2pt. La part de l'azote excrété émise sous forme de N₂O était augmentée dans les deux phases lorsque la teneur en protéines diminuait ($P = 0,038$).

2.3. Composition du lisier et bilan azoté par collecte

La baisse de teneur en protéines n'a pas eu d'effet significatif sur le volume ou la composition du lisier : N, P, pH, matière sèche. Une tendance ($P = 0,077$) a été observée pour la part de N sous forme ammoniacale, qui était réduite de 48,6% à 43,5% entre témoin et -1,2pt puis légèrement augmentée entre -1,2pt et -2,4pt jusque 44,9%. Numériquement, le volume de lisier produit par kg de gain était réduit de 10 % entre le témoin et le traitement -1,2pt puis réaugmentait avec le traitement -2,4pt : soit respectivement 2,43, 2,08 et 2,30 kg de lisier / kg de gain pour les traitements témoin, -1,2pt et -2,4pt. Le taux de matière sèche du lisier augmentait de 10,1% à 11,6% lorsque la teneur

en protéines diminuait. La concentration en N baissait faiblement avec la baisse de protéines, passant de 7,78 à 7,35 g/kg, respectivement pour les traitements témoin, -1,2pt et -2,4pt. Le pH augmentait avec la première baisse de la teneur en protéines de 6,66 à 6,80 puis diminuait à 6,67 pour le traitement -2,4pt, suivant l'évolution inverse de la concentration en N ammoniacal. La quantité totale d'azote dans le lisier (volume x concentration) n'était pas affectée par la baisse de teneur en protéines. En y ajoutant les émissions azotées, l'estimation de l'excrétion azotée, excrétion $N_{collecte}$, a tendance à diminuer avec la première baisse de teneur en protéines puis à réaugmenter ($P = 0,072$; Figure 2). L'excrétion

Tableau 2 – Effet de la phase d'engraissement et du niveau de protéines de l'aliment sur les performances, le bilan azoté et les émissions gazeuses des porcs

	Moyennes ajustées						P			R ² ajusté (%)
	28-48 kg			48-80 kg			Prot ¹	Phase	Prot x Phase	
	témoin	-1,2pt	-2,4pt	témoin	-1,2pt	-2,4pt				
Ingéré (kg/j)	1,582 ^a	1,566 ^a	1,736 ^a	2,540 ^b	2,403 ^b	2,594 ^b	0,128	<0,001	0,368	97,9
GMQ (kg/j)	0,946 ^a	1,127 ^b	1,161 ^{bc}	1,116 ^b	1,271 ^c	1,138 ^{bc}	0,007	0,023	0,114	45,6
Indice de consommation	1,67 ^b	1,39 ^a	1,49 ^a	1,82 ^c	1,86 ^c	2,05 ^d	0,126	<0,001	0,001	95,3
Ingéré azoté (g/j)	45,75 ^a	42,29 ^a	43,55 ^a	65,59 ^c	57,54 ^b	57,23 ^b	0,046	<0,001	0,05	96,5
Dépôt azoté (g/j)	23,61 ^a	28,14 ^b	29,00 ^{bc}	27,86 ^b	31,73 ^c	28,39 ^{bc}	0,007	0,023	0,114	45,6
Efficacité azotée (%)	51,9 ^b	66,5 ^a	66,6 ^a	42,7 ^c	55,1 ^b	49,7 ^b	0,001	<0,001	0,076	93,5
Excrétion azotée (g/j)	22,15 ^c	14,15 ^d	14,55 ^d	37,73 ^a	25,81 ^b	28,84 ^{ab}	0,005	<0,001	0,18	97,2
Part excrétion azotée urinaire (%)	70,6 ^a	57,2 ^c	55,1 ^c	72,3 ^a	63,1 ^b	65,3 ^b	<0,001	<0,001	0,023	91,3
Emissions CH ₄ (g/kg gain)	1,086 ^a	0,681 ^c	0,713 ^c	0,961 ^b	0,947 ^{ab}	1,035 ^{ab}	0,121	0,001	0,001	91,3
Emissions NH ₃ (g/kg gain)	1,681 ^a	0,832 ^b	0,709 ^b	1,640 ^a	1,729 ^a	1,451 ^a	0,112	<0,001	0,001	94,8
Facteur d'émission NH ₃ (g N-NH ₃ /100g N urinaire)	8,53 ^{ab}	9,21 ^{ab}	8,36 ^{abc}	5,65 ^c	11,2 ^a	7,07 ^{bc}	0,116	0,250	0,023	81,0
Emissions N ₂ O (g/kg gain)	0,066 ^a	0,056 ^{ab}	0,059 ^{ab}	0,038 ^b	0,042 ^b	0,048 ^{ab}	0,874	0,003	0,307	68,8
Facteur d'émission N ₂ O (g N- N ₂ O /100g N excrété)	0,19 ^b	0,28 ^a	0,30 ^a	0,07 ^c	0,13 ^{bc}	0,12 ^{bc}	0,038	<0,001	0,403	81,2

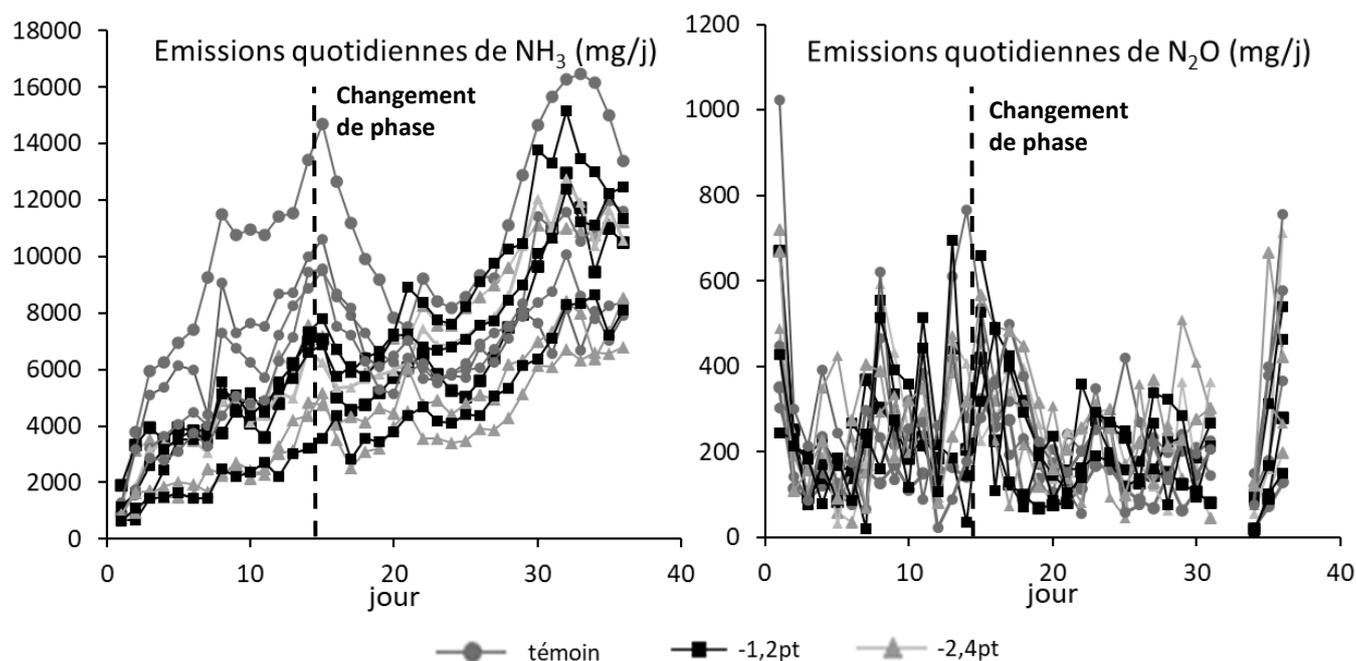


Figure 1 – Emissions quotidiennes d'ammoniac et de N₂O mesurées dans chaque chambre

2.4. Emissions

Ramenées au kg de gain de poids vif, les émissions de méthane et d'ammoniac étaient affectées par la baisse de teneur en protéines différemment entre les deux phases (Tableau 2, $P = 0,001$). Pour le méthane, les émissions étaient plus élevées avec le traitement témoin en phase 1, et elles étaient stables entre traitements pour la phase 2. Ces effets s'expliquent principalement par l'indice de consommation. Les émissions d'ammoniac étaient divisées par deux entre le traitement témoin et les traitements -1,2pt et -2,4pt en phase 1. En phase 2, les émissions n'étaient pas significativement différentes entre traitements. Aucun effet n'a été relevé sur les émissions de N_2O , beaucoup plus faibles et variables (Figure 1). Une baisse importante des émissions de NH_3 a été observée pour tous les traitements dans les jours suivant le changement de phase, ce qui peut s'expliquer par une meilleure adéquation entre besoins et apports nutritionnels en début de phase, réduisant les excès et donc les émissions.

Concernant les facteurs d'émission, l'interaction entre phase et teneur en protéines a un effet significatif sur la part de l'azote urinaire émise sous forme d'ammoniac ($P = 0,023$). En phase 1, elle n'a pas été affectée par la baisse de teneur en protéines, alors qu'en phase 2, elle augmente quand la teneur en protéines diminue, surtout pour le traitement -1,2pt. La part de l'azote excrété émise sous forme de N_2O était augmentée dans les deux phases lorsque la teneur en protéines diminuait ($P = 0,038$).

2.5. Composition du lisier et bilan azoté par collecte

La baisse de teneur en protéines n'a pas eu d'effet significatif sur le volume ou la composition du lisier : N, P, pH, matière sèche. Une tendance ($P = 0,077$) a été observée pour la part de N sous forme ammoniacale, qui était réduite de 48,6% à 43,5% entre témoin et -1,2pt puis légèrement augmentée entre -1,2pt et -2,4pt jusque 44,9%. Numériquement, le volume de lisier produit par kg de gain était réduit de 10 % entre le témoin et le traitement -1,2pt puis réaugmentait avec le traitement -2,4pt : soit respectivement 2,43, 2,08 et 2,30 kg de lisier / kg de gain pour les traitements témoin, -1,2pt et -2,4pt. Le taux de matière sèche du lisier augmentait de 10,1% à 11,6% lorsque la teneur en protéines diminuait. La concentration en N baissait faiblement avec la baisse de protéines, passant de 7,78 à 7,35 à 7,15 g/kg, respectivement pour les traitements témoin, -1,2pt et -2,4pt. Le pH augmentait avec la première baisse de la teneur en protéines de 6,66 à 6,80 puis diminuait à 6,67 pour le traitement -2,4pt, suivant l'évolution inverse de la concentration en N ammoniacal. La quantité totale d'azote dans le lisier (volume x concentration) n'était pas affectée par la baisse de teneur en protéines. En y ajoutant les émissions azotées, l'estimation de l'excrétion azotée, $N_{collecte}$, a tendance à diminuer avec la première baisse de teneur en protéines puis à réaugmenter ($P = 0,072$; Figure 2). L'excrétion N urinaire_{collecte}, calculée à partir de l'azote ammoniacal des collectes et émissions, était significativement impactée par la baisse de teneur en protéines ($P = 0,042$) passant de 12,3 g/j pour le témoin à 9,2 et 10,4 g/j respectivement pour les traitements -1,2pt et -2,4pt. Le dépôt $N_{collecte}$, calculé par différence entre l'azote ingéré et excrété, avait tendance à diminuer avec les baisses successives de protéines ($P = 0,096$), contrairement aux résultats obtenus à partir des performances et des scans.

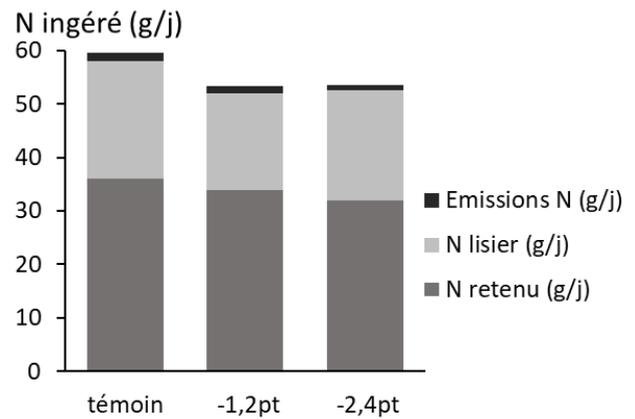


Figure 2 – Effet de la baisse de teneur en protéines de l'aliment sur le bilan azoté calculé à partir des collectes de lisier et des émissions gazeuses

3. DISCUSSION

Dans cet essai, l'efficacité azotée est améliorée avec la baisse de protéines mais atteint un plateau avec le traitement -2,4pt. Ce plateau d'efficacité azotée s'explique par une augmentation de l'ingéré avec le traitement -2,4pt, résultant en un ingéré azoté égal au traitement -1,2pt. Ces éléments sont en contradiction avec les résultats actuels sur les effets de la teneur en protéines et en acides aminés sur la régulation de l'ingestion (Li et Patience, 2017). Ces indiquerait que les animaux régulent leur ingéré azoté pour couvrir un besoin en azote ou en AA non essentiels, ce qui est conforme à des résultats plus anciens sur la régulation de l'ingéré (Henry, 1985). Les performances dans cet essai sont élevées par rapport aux fermes commerciales mais également aux autres essais expérimentaux, grâce vraisemblablement à la qualité de l'ambiance obtenue dans le dispositif. L'amélioration du gain de poids et de l'indice de consommation avec la baisse de protéines en phase 1 pourrait s'expliquer par la forte réduction des émissions d'ammoniac, permettant une ambiance améliorée (Massabie et Granier, 2004). En phase 2, la diminution de gain de poids avec le traitement -2,4pt malgré un ingéré azoté stable pourrait s'expliquer par un déficit de tryptophane puisque la valeur analysée était 7% en dessous de la valeur formulée. Le plafonnement de l'efficacité azotée entraîne un ralentissement important de la réduction de l'excrétion azotée et des émissions gazeuses.

La réduction des émissions d'ammoniac a seulement été observée en phase 1 de l'essai. Les facteurs d'émission étaient très variables entre chambre et plus faibles que les facteurs publiés pour les émissions au bâtiment (Cappelaere *et al.*, 2021 ; EMEP/EEA, 2019; IPCC, 2019) en raison de la courte durée de l'essai ne couvrant pas la finition où les émissions sont plus importantes. Les émissions de N_2O n'ont pas été significativement affectées par la stratégie alimentaire et par conséquent le facteur d'émission augmente puisque l'azote excrété diminue. Les facteurs d'émission pour le N_2O sont en accord avec les données de la littérature (IPCC, 2019). La variabilité des émissions et l'incertitude de la mesure pour des émissions faibles est un problème important pour la mesure des émissions de N_2O et ces résultats sont donc à prendre avec précaution. Néanmoins, les effets de la baisse de teneur en protéines sur les processus de nitrification-dénitrification sont à explorer. Aucun effet significatif n'a été observé sur la composition du lisier, ce qui peut s'expliquer par le faible

nombre d'unités expérimentales et les défis liés à l'échantillonnage et l'analyse de lisier. Une analyse plus poussée de ces résultats reste nécessaire pour valider les résultats obtenus.

Dans cet essai, le bilan azoté a pu être calculé via deux méthodes, qui donnent des résultats différents. L'excrétion azotée totale est similaire entre les deux méthodes pour les traitements -1,2pt et -2,4pt mais plus élevée quand elle est calculée à partir des performances pour le témoin. L'excrétion azotée urinaire est plus élevée lorsqu'elle est calculée à partir des performances pour toutes les chambres. Le dépôt azoté est plus élevé lorsqu'il est calculé par différence entre l'ingestion et l'excrétion. De plus, il diminue avec la baisse de protéines alors qu'il augmente lorsqu'il est calculé par régression à partir du gain et des scans au DXA. Les deux méthodes donnent néanmoins des résultats dans la plage de variabilité des essais publiés (Cappelaere *et al.*, 2021). Une analyse plus poussée est nécessaire pour déterminer si la teneur en azote du gain de poids est sous-estimée ou si une partie des pertes d'azote ne sont pas prises en compte par les mesures d'émissions (ex. :

fuites dans les chambres, biais dans les analyses, émission de N₂). Le calcul de l'excrétion fécale à partir de la digestibilité de l'azote pourrait aussi être en cause.

CONCLUSION

Cet essai a montré qu'une baisse de 1,2 point de pourcentage de la teneur en protéines de l'aliment en contexte québécois permet de réduire efficacement l'excrétion azotée et les émissions azotées des porcs à l'engrais en maintenant ou augmentant les performances de croissance. Il a mis une évidence une limite à la mise en place bénéfique pour l'environnement de la stratégie avec une baisse de 2,4 pt. En effet cette baisse supplémentaire n'améliore pas l'efficacité azotée puisque l'ingéré azoté et l'excrétion azotée restent stables par rapport au niveau 1,2 point de pourcentage, conduisant à des émissions constantes entre les deux niveaux de baisse. Ce plateau, point de rupture, est à explorer dans des essais plus longs et dans différents contextes, notamment des conditions plus proches du terrain.

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.
- Cappelaere L., le Cour Grandmaison J., Martin N., Lambert W., 2021. Amino Acid Supplementation to Reduce Environmental Impacts of Broiler and Pig Production: A Review. *Front. Vet. Sci.*, 8, 689259.
- Cappelaere L., van Milgen J., Syriopoulos K., Simongiovanni A., Lambert W., 2021. Quantifying benefits of reducing dietary crude protein on nitrogen emissions of fattening pigs: a meta-analysis. *Journées Rech. Porcine*, 54, 215-220.
- Cappelaere L., van Milgen J., Syriopoulos K., Simongiovanni A., Lambert W., Létourneau-Montminy M.-P., 2022. 167 Effect of Reducing Dietary Crude Protein on Growth Performance of Fattening Pigs: A Meta-Analysis. *J. Anim. Sci.*, 100(Supplement_2), 81–81.
- de Vries M., de Boer I.J.M., 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livest. Sci.*, 128, 1–11.
- EMEP/EEA. 2019. Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (3. B Manure Management), European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.
- Henry Y., 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: A review. *Livest. Prod. Sci.*, 12, 339-354.
- IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IRPP, 2017. Best Available Techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs.
- Li Q., Patience J.F., 2017. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 233, 22-33.
- Massabie P., Granier R., 2004. Incidence de la réduction de la densité animale en engraissement sur la qualité de l'ambiance et son impact sur les performances. *Journées Rech. Porcine*, 36, 395–402.
- Pomar C., Rivest J., 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Proceedings of the 46th Annual Conference of the Canadian Society of Animal Science*, Lethbridge, AB, Canada, 26.
- Wang Y., Zhou J., Wang G., Cai S., Zeng X., Qiao S., 2018. Advances in low-protein diets for swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 9, 60.