

**La restriction alimentaire chez le porc en
engraissement; les impacts de la période et de la durée
sur les performances techniques et sur le bilan
alimentaire**

Maude Richer Lanciault, Jean François Bernier, Robert Fillion, Martin
Lessard, Marie-Josée Turgeon et Frédéric Guay

Rapport présenté
à la Fédération des producteurs de porcs du Québec

Département des sciences animales
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation
Université Laval
Québec
2010

Table des matières

Liste des tableaux.....	3
Liste des figures	4
Résumé.....	5
Chapitre 1	7
Contexte	7
2.1 Contextes économique et environnemental de la production porcine	7
2.2 Contexte théorique et justification de l'étude du gain compensatoire	8
3.1 Buts et objectifs spécifiques du projet	11
Chapitre 2.....	13
Matériel et méthodes.....	13
2.1. Animaux et logement.....	13
2.2. Essai de croissance.....	13
2.3. Essai de digestibilité	17
2.4. Calcul de l'impact environnemental	19
2.4. Calcul de l'impact économique	20
2.6. Analyses statistiques	22
Chapitre 3.....	23
Résultats.....	23
3.1. Essai de croissance.....	23
3.2. Essai de digestibilité	28
3.3. Prélèvements sanguins.....	40
3.4. Bilan environnemental	42
3.5. Performances économiques	48
Discussion.....	50
Liste des ouvrages cités	55
Remerciements.....	58

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. DESCRIPTION DES PROGRAMMES ALIMENTAIRES SELON LES DIFFÉRENTES PHASES ALIMENTAIRES.....	14
TABLEAU 2. COMPOSITION DES ALIMENTS DÉBUT, CROISSANCE, FINITION 1 ET FINITION 2	15
TABLEAU 3. COÛT DES INGRÉDIENTS POUR LES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS POUR L'ÉVALUATION DE L'IMPACT ÉCONOMIQUE DES DIFFÉRENTS PROGRAMMES ALIMENTAIRES	21
TABLEAU 4. PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DES PORCS DURANT LES DIFFÉRENTES PHASES ALIMENTAIRES ^c	25
TABLEAU 5. PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DES PORCS POUR L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ DURANT LES DIFFÉRENTES PHASES ALIMENTAIRES.....	29
TABLEAU 6. BILAN QUOTIDIEN DE L'AZOTE PAR KILOGRAMME DE POIDS MÉTABOLIQUE POUR L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ CHEZ LES PORCS EN ENGRAISSEMENT.....	34
TABLEAU 7. BILAN QUOTIDIEN DU PHOSPHORE PAR KILOGRAMME DE POIDS MÉTABOLIQUE POUR L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ CHEZ LES PORCS EN ENGRAISSEMENT.....	36
TABLEAU 8. BILAN QUOTIDIEN DU CALCIUM PAR KILOGRAMME DE POIDS MÉTABOLIQUE POUR L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ CHEZ LES PORCS EN ENGRAISSEMENT.....	38
TABLEAU 9. ESTIMATION DE LA QUANTITÉ D'AZOTE INGÉRÉE ET REJETÉE DANS L'ENVIRONNEMENT POUR LES PORCS EN PARC.	45
TABLEAU 10. ESTIMATION DE LA QUANTITÉ DE PHOSPHORE INGÉRÉE ET REJETÉE DANS L'ENVIRONNEMENT POUR LES PORCS EN PARC.	46
TABLEAU 11. ESTIMATION DE LA QUANTITÉ DE CALCIUM INGÉRÉE ET REJETÉE DANS L'ENVIRONNEMENT POUR LES PORCS EN PARC.	47
TABLEAU 12. COÛT DES ALIMENTS CONSOMMÉS ET DES CHARGES FIXES POUR CHAQUE TRAITEMENT	49

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. PROFONDEUR DE L'ŒIL DE LONGE DES PORCS MESURÉE PAR ULTRASONS.....	27
FIGURE 2. CONCENTRATION DU PHOSPHATE (MG/DL) DANS LE PLASMA SANGUIN DES PORCS DURANT L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ..	40
FIGURE 3. ACTIVITÉ DE LA PHOSPHATASE ALCALINE (MMOL/(L*MIN) DANS LE PLASMA SANGUIN DES PORCS DURANT L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ.....	41
FIGURE 4. CONCENTRATION DU «C-TERMINAL TELOPEPTIDES TYPE I COLLAGEN» (NG/ML) DANS LE PLASMA SANGUIN DES PORCS DURANT L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ.	41
FIGURE 5. CONCENTRATION DE L'URÉE (MG/DL) DANS LE PLASMA SANGUIN DES PORCS DURANT L'ESSAI DE DIGESTIBILITÉ.	42

RÉSUMÉ

L'objectif général de ce projet de recherche était d'évaluer les effets de la période et de la durée d'une restriction qualitative en acides aminés/phosphore/calcium sur le gain compensatoire chez les porcs à l'engraissement. Pour évaluer les effets d'une restriction en acides aminés et en phosphore-calcium, nous avons réalisé un essai de croissance et un essai de digestibilité. Pour l'essai de croissance, nous avons utilisé 94 porcs castrés (poids initial de 18 kg) maintenus en groupes de deux porcs par parc. Les porcs étaient alimentés *ad libitum* pour toute la durée de l'expérimentation. Pour l'essai de digestibilité, nous avons utilisé 24 porcs castrés (poids initial de 19,5 kg) maintenus en parcs individuels et qui ont été transférés en cages métaboliques aux jours (J) 14, 35, 63 et 84 de l'expérience pour l'essai de digestibilité. Pour les deux essais, les porcs ont été répartis en quatre traitements alimentaires qui ont été appliqués jusqu'à l'abattage à un poids d'environ 117 kg. Le premier groupe de porcs (Témoin) a été alimenté avec un programme alimentaire conventionnel (Début (1,02 % Lys digestible, 0,32 % P disponible, 0,76 % Ca), Croissance (0,95 % Lys digestible, 0,26 % P disponible, 0,69 % Ca), Finition 1 (0,75% Lys digestible, 0,22 % P disponible, 0,52 % Ca) et Finition 2 (0,63 % Lys digestible, 0,19 % P disponible, 0,49 % Ca)). Les mêmes aliments ont été offerts aux porcs des autres traitements (R0-21, R21-49 et R0-49), mais dans une séquence différente, générant ainsi une restriction alimentaire qualitative. Les séquences alimentaires des autres traitements étaient : R0-21 : Finition 1, Début, Finition 1 et Finition 2; R21-49 : Début, Finition 2, Finition 1 et Finition 2; R0-49 : Finition 1, Finition 2, Finition 1, Finition 2. Lors des périodes de restriction, les apports en Lys digestible, en P disponible et en Ca total étaient restreints d'environ 30 % par rapport aux besoins en nutriments pour la période visée. Les changements d'aliment étaient effectués aux jours 21, 49 et 70 de la période d'engraissement. Pour l'essai de croissance, le gain moyen quotidien (GMQ) et l'efficacité alimentaire (G/F) ont été inférieurs au groupe Témoin durant les jours 0 à 21 pour les traitements R0-21 ($P < 0,05$) et R0-49 ($P < 0,01$) et pour les traitements R21-49 ($P < 0,01$) et R0-49 ($P < 0,01$) pour la période J21 à J49. Durant la période de réalimentation du traitement R0-21 (jours 21 à 49), les porcs ont eu un

meilleur G/F ($P=0,02$) et avaient tendance à maintenir un G/F supérieur au traitement Témoin ($P=0,09$) des jours 49 à 70. Pour les porcs des traitements R21-49 et R0-49, le même patron de G/F a été observé durant leur période de réalimentation de J49 à J70 ($P<0,01$) et de J70 à l'abattage ($P<0,10$). Aucune différence significative n'a été observée pour les mesures de performances globales sur l'ensemble de la période d'engraissement (GMQ, G/F) et les données à l'abattage. Pour l'essai de digestibilité, les porcs des traitements R0-21 et R0-49 ont ingéré, absorbé et retenu moins de N et de P pendant la période de collecte de J14 à J20 (période de restriction) que les porcs du groupe Témoin ($P<0,01$). Lors de la deuxième période de collecte, entre de J35 à 41, les porcs R0-49 et R21-49 ont également ingéré et absorbé ($P<0,05$) moins de N et de P (période de restriction) et ils ont retenu moins de P ($P<0,05$) et ont eu aussi tendance à retenir moins de N ($P<0,10$). Durant la période de regain (J63 à J69), les porcs du traitement R0-21 tendaient à retenir plus de N et de P ($P<0,10$). Aucune différence significative du bilan N et P n'a été observée pendant la période de collecte de J63 à J69 et de J84 à J90 pour les traitements R21-49 et R0-49. De façon globale, les traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de N et de P que le traitement Témoin ($P<0,01$) et les porcs du traitement R0-21 ont rejeté moins de N et de P que les porcs Témoins ($P<0,05$). Pour calculer l'impact économique des restrictions, une simulation a été réalisée avec une variation des prix du maïs et du soya en utilisant les données de performances de l'essai de croissance. Les coûts d'alimentation pour l'engraissement d'un porc sont plus faibles que le traitement Témoin pour tous les scénarios de variation des prix pour le traitement R21-49. Les porcs du traitement R0-49 tendaient à avoir un coût d'alimentation inférieur lorsque le prix par tonne du tourteau de soya était le double du prix par tonne du maïs ($P<0,10$). L'ensemble des résultats démontre que les performances globales des porcs n'ont pas été affectées par la restriction en lysine digestible, en phosphore disponible et en calcium. Ces résultats montrent que les porcs peuvent combler le retard de croissance dû à une restriction qualitative. Le gain compensatoire a aussi un impact positif sur le bilan environnemental de l'azote et du phosphore et sur les performances économiques en engraissement.

CHAPITRE 1

Contexte

2.1 Contextes économique et environnemental de la production porcine

Le secteur porcin canadien fait face aujourd'hui à plusieurs défis afin d'assurer son développement à long terme. Du point de vue économique, les coûts de production croissants et la compétition étrangère viennent remettre en question nos modes de production et forcent les intervenants de la filière porcine québécoise à toujours innover pour assurer le maintien d'un secteur porcin dynamique et créateur d'emploi. Dans le contexte économique actuel, la réduction du coût de production des entreprises porcines canadiennes est probablement le facteur le plus important pour assurer la pérennité des entreprises dans les années futures. Parmi les éléments qui composent le coût de production, l'alimentation des animaux est le plus important. En fait, l'achat des aliments représente entre 50 et 60 % du coût de production des entreprises porcines québécoises (FGCAQ, 2006). Il est donc évident que, dans l'optique d'une stratégie globale de réduction des coûts de production, il faille passer par le développement de programmes alimentaires plus efficaces et moins coûteux.

En plus du contexte économique, les producteurs de porcs du Canada ont fait face et se heurtent encore aujourd'hui à plusieurs contraintes environnementales. Depuis les dernières années, les élevages porcins québécois ont réduit de façon significative la quantité d'éléments fertilisants rejetés dans leurs effluents. Toutefois, le porc en croissance a encore une efficacité alimentaire relativement faible. Celui-ci dépose dans ses tissus seulement 30 à 35 % des nutriments qu'il ingère; le reste des nutriments se retrouvant dans les effluents (Knowlton et al., 2004; Dourmad et al., 1999). Certaines stratégies alimentaires ont été développées au cours des dernières années afin d'améliorer cette efficacité et de réduire les rejets. Pour le phosphore, l'ajout d'un supplément de phytase, associé à une réduction du contenu en phosphore des aliments, a permis de

réduire les rejets de phosphore de 25 à 35 %, en améliorant la digestibilité et la disponibilité du phosphore des moulées (Knowlton et al., 2004). L'alimentation multiphase et l'ajout d'acides aminés industriels ont également permis de réduire de façon significative la quantité d'éléments fertilisants rejetés (Knowlton et al., 2004; Dourmad et al., 1999). Malgré ces améliorations, le porc rejette encore une quantité importante de composés dans les effluents, obligeant les producteurs à rechercher d'autres techniques ou à recourir à des approches technologiques complexes (p. ex. séparation des lisiers) afin d'assurer le développement de leur production dans le contexte réglementaire actuel.

2.2 Contexte théorique et justification de l'étude du gain compensatoire

Jusqu'à tout récemment, l'alimentation en production porcine avait pour objectif de combler les besoins des porcs afin de maximiser la croissance à chacun des stades de production. Pour atteindre ces objectifs de croissance en début de croissance (entre 15 et 50 kg de poids vif), les animaux sont nourris à volonté avec des aliments qui doivent être particulièrement concentrés en nutriments (acides aminés, phosphore et calcium), augmentant ainsi le coût monétaire associé à ces aliments. Toutefois, certaines études ont montré qu'il était possible de restreindre l'ingestion de nutriments des porcs en début de croissance, soit avec un aliment moins concentré en acides aminés, et donc moins coûteux, ou de restreindre la prise alimentaire; sans augmenter la quantité totale d'aliment, la durée totale d'engraissement et ni réduire le poids d'abattage (Reynolds et O'Doherty, 2006; Fabian et al., 2002; Chiba, 1995; Lovattio et al., 2000; Smith et al., 1999). Le gain compensatoire permet donc d'atteindre un gain moyen quotidien global (de 20 kg jusqu'à l'abattage) équivalent à celui des animaux alimentés à volonté avec des aliments comblant 100 % des besoins en acides aminés. Le gain compensatoire implique en fait un ralentissement de la croissance au début de l'élevage, suivi par un rattrapage de ce retard de croissance pendant les phases subséquentes de l'élevage (Lovattio et al., 2000). Ce rattrapage de la croissance s'expliquerait soit par une augmentation de la prise alimentaire ou par une amélioration de l'efficacité alimentaire pendant la période de

regain (Fabian et al., 2002; Chiba, 1995; Lovattio et al., 2000; Fabian et al., 2004). Toutefois, la capacité du porc à exprimer un gain compensatoire et donc à combler complètement le retard de croissance peut dépendre de plusieurs facteurs, dont principalement l'intensité et la durée de la restriction (Reynolds et O'Doherty, 2006; Smith et al., 1999; Donker et al., 1986; Prince et al., 1983).

En ce qui touche l'intensité, Fabian et al. (2002) ont montré qu'en restreignant des porcs de 20 à 50 kg en réduisant la teneur en protéine de l'aliment de 20 jusqu'à 12 % (restriction de 40 %), on observait une augmentation linéaire du gain moyen quotidien (GMQ) en période de regain; c'est-à-dire de 772 g/jour à 898 g/jour, sans effet néfaste sur le GMQ global de 20 kg jusqu'à 108 kg. Smith et al. (1999) et Critser et al. (1998) ont obtenu des résultats similaires avec une restriction de la teneur en protéine de 23 à 17 % (restriction de 26 % en lysine) et de 18 à 13 % (restriction de 28 % en lysine) chez des porcs de 30 à 72 kg et 42 à 60 kg, respectivement. Des résultats similaires ont aussi été rapportés pour une restriction de la prise alimentaire de 15 à 30 % chez des porcs de 20 à 60 kg (Donker et al., 1986; Prince et al., 1983). Toutefois, Therkildsen et al. (2002) ont obtenu des résultats démontrant qu'une restriction de 40 % de la prise alimentaire pendant 28 jours chez des porcs de 30 kg réduisait la croissance globale et le poids corporel à 140 jours (Therkildsen et al., 2002). Heyer et Lebret (2007) ont aussi obtenu une augmentation de l'âge à 110 kg (donc réduction de la vitesse de croissance globale) lorsque la prise alimentaire des porcs était restreinte à 65 % du niveau à volonté entre 30 et 70 kg (Heyer et Lebret, 2007). Ces résultats semblent donc suggérer qu'une restriction de 25 à 30 % de la quantité de nutriments ingérée suivie d'une période de regain n'affecte pas la croissance globale de l'animal entre 20 et 100 kg. De plus, la majorité des études ne rapportent aucun effet négatif d'une stratégie de restriction-regain sur le poids à l'abattage et les rendements en carcasse si la restriction n'excède pas 30 % (Reynolds et O'Doherty, 2006; Fabian et al., 2002; Chiba, 1995; Smith et al., 1999; Critser et al., 1995). Au-delà d'une telle restriction, la croissance globale de l'animal peut en être affectée.

En ce qui concerne la durée de la restriction, Prince et al. (1983) ont montré qu'une restriction de 15 % de la prise alimentaire pendant deux ou quatre semaines chez des porcs n'affectait pas la croissance globale (Prince et al., 1983). Toutefois à un taux de

restriction de 30 %, ces mêmes auteurs ont noté une réduction du GMQ global lorsque la durée de restriction passait de 2 à 4 semaines. Toutefois, les résultats de Therkildsen et al. (2004) n'ont montré aucun effet néfaste d'une augmentation de la durée de restriction de 50 à 60 jours sur le GMQ global de porcs entre les âges de 28 à 140 jours (Therkildsen et al., 2004). Les mêmes auteurs rapportent toutefois dans une autre étude une réduction linéaire du poids à 140 jours suite à l'augmentation de la durée de restriction de 28 à 60 jours. Il semble donc y avoir une certaine inconsistance entre les résultats sur la durée de restriction et il y a donc un intérêt à définir la durée optimale afin d'optimiser les effets du gain compensatoire. De plus, bien que les effets du gain compensatoire soient bien connus sur le plan biologique, l'impact économique de l'utilisation d'une telle stratégie n'a jamais été étudié dans le contexte spécifique du Québec. Il serait donc pertinent d'évaluer ces aspects dans l'éventualité d'une application de ces stratégies dans les élevages québécois.

En plus des effets sur le GMQ et l'efficacité alimentaire, certaines études ont observé une amélioration de l'efficacité de l'utilisation des nutriments pendant la période de regain (Martinez et de Lange, 2005; Fabian et al., 2004; Whang et al., 2000) suggérant un avantage environnemental à utiliser la stratégie restriction-regain. Fabian et al. (2004) ont montré qu'une restriction en protéine de 40 %, entre 20 et 50 kg augmentait l'efficacité d'utilisation de l'azote ingéré pendant la période de regain. En fait, l'utilisation nette de l'azote alimentaire, c'est-à-dire le ratio entre l'azote retenu et l'azote ingéré, est passé de 29 à 46 % et l'azote retenu par jour a augmenté de 18 g à 27 g. Cette augmentation est associée à une réduction de l'excrétion d'azote de 42 à 32 g par jour. Ces mêmes auteurs ont noté qu'une restriction en protéine de 35 % de 20 à 50 kg diminuait la consommation quotidienne de lysine et augmentait le ratio entre le gain de poids et la lysine ingérée de 39 à 48 % pour toute la période croissance-finition (20 à 108 kg) (Fabian et al., 2002). Des résultats comparables ont aussi été rapportés par Smith et al. (1999) suggérant une meilleure efficacité d'utilisation de la lysine alimentaire. D'ailleurs, Whang et al. (2000) ont également noté une augmentation de l'efficacité du dépôt de l'azote absorbé suivant une restriction en protéine de 40 %. Martinez et de Lange (2005) ont noté une augmentation du dépôt en protéine (163 g/d vs 179 g/d) sans augmentation de l'apport alimentaire d'azote suivant une période de restriction de 40 % en acides aminés chez des

porcs de 15 et 38 kg. Cette amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote alimentaire pendant la période de réalimentation serait donc suffisamment importante pour réduire la quantité de nutriments rejetés dans les effluents d'élevage pour l'ensemble de la période de croissance-finition. Toutefois, pour d'autres nutriments majeurs, dont le phosphore, nos connaissances sur la capacité du porc à générer un gain compensatoire après une période de restriction sont limitées. Il est toutefois connu qu'une restriction alimentaire modérée en phosphore, bien que réduisant la densité et la masse osseuse, améliore l'utilisation alimentaire de cet élément par le porc (Ekpe et al., 2002), c'est-à-dire qu'elle réduit la quantité de phosphore ingéré par unité de gain de poids. Actuellement, aucune étude n'a déterminé si le porc pouvait compenser un retard de croissance causé par une carence modérée en phosphore. Toutefois, des résultats chez d'autres espèces monogastriques montrent que les qualités fonctionnelles et la croissance des os peuvent être rétablies après une restriction de la prise alimentaire chez l'animal en croissance (Farnum et al., 2003; Gafni et al., 2001), suggérant que les nutriments impliqués dans la formation de l'os, dont le phosphore, sont utilisés plus efficacement et rejetés en moins grande quantité durant la période de regain.

3.1 Buts et objectifs spécifiques du projet

- Évaluer la capacité des porcs en croissance-finition à rattraper un retard de croissance causé par une restriction qualitative des apports en acides aminés et en phosphore-calcium (gain compensatoire) en fonction de la durée de la restriction;
- Évaluer l'impact de différentes stratégies restriction-réalimentation sur le gain moyen quotidien et la conversion alimentaire afin de déterminer la stratégie qui est la plus rentable sur les plans technique et économique;
- Estimer l'impact des stratégies alimentaires restriction- réalimentation sur les rejets en phosphore et en azote dans les effluents;

- Évaluer les effets des stratégies restriction- réalimentation sur certains paramètres ou indicateurs de l'efficacité des métabolismes de l'azote et du phosphore-calcium.

CHAPITRE 2

Matériel et méthodes

2.1. Animaux et logement

Cent vingt porcs mâles castrés Duroc x (Yorkshire x Landrace) (Coop Fédérée, Sogéporc) négatifs pour le Syndrome Reproducteur et Respiratoire Porcin, négatif aux mycoplasmes et vaccinés contre le circovirus 2 au sevrage ont été divisés en deux essais expérimentaux : un essai de croissance et un essai de digestibilité. Les deux essais ont été réalisés au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault.

2.2. Essai de croissance

2.2.1. Animaux et traitements

Quatre-vingt-seize porcelets, logés en groupe de deux porcs par parc (1,45 m x 1,52 m), ont été utilisés pour l'essai de croissance. À leur arrivée au centre, les porcelets sevrés (6,4 kg à 21 jours d'âge) ont été pesés et partagés en quatre traitements pour un total de 12 parcs par traitement. Les porcs étaient répartis dans les parcs selon leur poids pour obtenir un poids homogène dans le parc. Les porcs de poids comparable étaient ensuite distribués de façon aléatoire entre les traitements. De l'arrivée jusqu'au poids d'environ 18 kg (jour 0 des essais), les porcelets ont été alimentés avec un aliment commercial pour porcelets (Coop Fédérée). Par la suite, les traitements alimentaires ont été appliqués jusqu'à l'abattage à un poids d'environ 117 kg. Les traitements correspondaient à quatre programmes alimentaires (Tableau 1). Il y avait un programme alimentaire Témoin de

type commercial (Témoin) (n=12), un programme restreint du jour 0 au jour 21 (R0-21) (n=12), un programme restreint du jour 21 au jour 49 (R21-49) (n=11) et un programme restreint du jour 0 au jour 49 (R0-49) (n=12). À l'exception des périodes de restriction, les porcs étaient alimentés de façon similaire au programme alimentaire Témoin. Les porcs étaient nourris *ad libitum* pour la durée totale de l'engraissement. Les changements d'aliment étaient effectués aux jours 0, 21, 49 et 70 de la période d'engraissement.

Tableau 1. Description des programmes alimentaires selon les différentes phases alimentaires

Phases alimentaires	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49
0-21 jours (18-30 kg)	Début	Finition 1	Début	Finition 1
21-49 jours (30-60 kg)	Croissance	Croissance	Finition 2	Finition 2
49-70 jours (60-85 kg)	Finition 1	Finition 1	Finition 1	Finition 1
70-abattage (85-120 kg)	Finition 2	Finition 2	Finition 2	Finition 2

Les traitements des porcs Témoin étaient basés sur un aliment correspondant à 100 % des besoins en nutriments fixés par le NRC (1998). Pour le traitement R0-21, l'aliment Début était remplacé par l'aliment Finition 1 durant la première période (0 à 21 jours). Ceci représentait une restriction de 27 % en lysine digestible, de 31 % en calcium et de 31 % en phosphore disponible. Pour le traitement R21-49, l'aliment Croissance était remplacé par l'aliment Finition 2 durant la 2^e période (J21 à J49). Ceci représentait une restriction de 33 % en lysine digestible, de 29 % en calcium et de 27 % en phosphore disponible. Pour le traitement R0-49, la combinaison des deux restrictions était utilisée, soit l'aliment Début était remplacé par l'aliment Finition 1 de J0 à J21 et l'aliment Croissance était remplacé par l'aliment Finition 2 de J21 à J49. La composition des aliments est décrite dans le Tableau 2.

Tableau 2. Composition des aliments Début, Croissance, Finition 1 et Finition 2

Ingrédient, %	Début	Croissance	Finition 1	Finition 2
Blé	15,00	15,00	15,00	15,00
Maïs	58,71	62,13	67,82	70,99
Tourteau de soya	23,00	20,00	15,00	12,00
Pierre à chaux moulue	1,30	1,20	0,85	0,90
Phosphate dicalcique 21 %	0,85	0,55	0,40	0,25
Sel	0,30	0,30	0,30	0,30
DL-Methionine	0,05	0,03	---	---
L-Lysine HCl 98 %	0,30	0,30	0,20	0,15
L-Thréonine	0,05	0,05	---	---
Natuphos 5000 phytase liquide	0,05	0,05	0,04	0,02
Chlorure de Choline (51,7%)	0,10	0,10	0,10	0,10
Prémélange pré-début/début	0,30	0,30	---	---
Prémélange croissance-finition	---	---	0,30	0,30
Composition calculée ¹				
Énergie nette, kcal/kg	2372	2415	2456	2481
Protéine brute, %	18	17	15	13
Lysine digestible, %	1,02	0,95	0,75	0,63
Phosphore total, %	0,54	0,47	0,43	0,35
Phosphore disponible, %	0,32	0,26	0,22	0,19
Calcium total, %	0,76	0,69	0,52	0,49
Composition analysée				
Protéine brute, %	18	17	14	13
Phosphore total, %	0,45	0,38	0,35	0,28
Calcium total, %	0,64	0,51	0,40	0,37

¹ Les valeurs utilisées pour calculer la composition proviennent du NRC (1998)

Une période de jeûne de 16 à 20 heures a été effectuée avant le transport des porcs jusqu'à un abattoir commercial. À la fin de l'expérience, les porcs ont été abattus dans un abattoir commercial à un poids d'environ de 117 kg. Les animaux ont été abattus selon les standards établis pour un abattoir d'inspection fédéral. Le protocole de recherche a été approuvé par le comité de protection des animaux de l'Université Laval.

2.2.2. Mesures et prises d'échantillons

Durant la période d'engraissement, les porcs ont été pesés au début de chaque phase alimentaire et à l'expédition des porcs pour l'abattoir. Lorsque le premier porc du parc était expédié pour l'abattage, le deuxième était aussi pesé pour établir le gain de poids moyen du parc; le deuxième porc du parc continuait à être alimenté jusqu'au poids d'abattage afin d'établir la durée totale moyenne d'engraissement pour le parc. Les pesées ont été effectuées le matin, à l'exception de la pesée préabattage qui était faite avant la période de jeûne. L'épaisseur de gras dorsal et la profondeur de l'œil de longe étaient mesurées par ultrasons aux jours 45, 66 et 87.

Chaque jour, la quantité de moulée donnée au porc était pesée de même que la quantité résiduelle avant chaque changement de moulée. Des échantillons des aliments ont été prélevés à chaque semaine (le lundi matin) afin d'analyser le contenu en matière sèche, en protéine brute, en phosphore et en calcium des aliments. À partir des données recueillies durant la période d'engraissement, le gain moyen quotidien, l'efficacité alimentaire, la quantité d'aliment consommée et la durée d'engraissement ont été calculés.

2.3. Essai de digestibilité

2.3.1. Animaux et traitements

Vingt-quatre porcelets, logés en parc individuel (1,45 m x 1,52 m), ont été utilisés pour un essai de digestibilité. Au poids moyen de 19,5 kg (jour 0), les porcs ont été partagés en quatre traitements pour un total de 6 porcs par traitement. Les porcs de poids comparable ont été distribués de façon aléatoire entre les traitements. Les traitements correspondaient à ceux décrits précédemment pour l'essai de croissance.

Afin d'effectuer l'essai de digestibilité en période de restriction et de réalimentation, les porcs ont été transférés en cages métaboliques aux jours 14, 35, 63 et 84 de l'expérience. Les porcs étaient maintenus pour une période totale de sept jours en cages métaboliques, incluant 2 jours d'adaptation et 5 jours de collecte. Les porcs en cages métaboliques étaient alimentés pour combler quatre fois leur besoin en énergie nette pour l'entretien ($750 \text{ kJ/PV}^{0,60}$, kg). Les porcs ont été abattus à un poids moyen de 117 kg comme décrit dans l'essai de croissance. Pour la période de collecte des jours 84 à 91, seulement 15 porcs ont été utilisés. Les autres porcs ayant un poids excédant la capacité de soutien des cages métaboliques, soit 108 kg, ont été retirés de la dernière collecte.

Lorsque les animaux étaient dans leur parc entre les essais en cages, les porcs étaient traités comme décrit dans l'essai de croissance, incluant les pesées des animaux et de l'aliment ainsi que les mesures d'épaisseur de gras et de profondeur de l'œil de longe. À partir des données recueillies durant la période d'engraissement, le gain moyen quotidien, l'efficacité alimentaire, la quantité d'aliment consommée et la durée d'engraissement ont été calculés.

2.3.2. Échantillons

Lorsque les animaux étaient maintenus en cages métaboliques, les quantités d'aliment et de refus étaient notées quotidiennement. À chaque jour, les totalités des fèces et des

urines ont été collectées et pesées; pour l'urine, 30 ml d'acide sulfurique (10 %) étaient ajoutés pour éviter les pertes ammoniac. Un échantillon d'urine équivalent à 10 % du volume total était prélevé à chaque jour et congelé à -20 °C. Pour les fèces, la totalité était congelée à -20 °C. À la fin des collectes, les échantillons des fèces et de l'urine ont été décongelés, rassemblés et mélangés uniformément. Des échantillons représentatifs de fèces et d'urine ont été, par la suite, prélevés et congelés à -20 °C jusqu'à l'analyse. À partir des données recueillies durant les quatre essais de digestibilité, l'azote, le phosphore et le calcium ingérés, absorbés et retenus ont été déterminés ainsi que la digestibilité apparente et les ratios retenu sur ingéré et rejeté sur ingéré des différents composés.

Des prélèvements sanguins ont été effectués par une ponction de la veine jugulaire le matin entre 7 h 30 et 8 h 30 aux jours 14, 35, 63 et 84 de l'expérience. Les prélèvements étaient effectués dans des tubes sous vide de 10 ml. Les tubes de sang étaient centrifugés à 4 °C pour obtenir le sérum. Ce dernier a été ensuite congelé en aliquotes à -20 °C pour déterminer ultérieurement le contenu en urée (marqueur de l'efficacité du métabolisme protéique), en calcium, en phosphore, en « phosphatase alcaline » (marqueur de la formation des os) et en « C-terminal telopeptides of type I collagen » (marqueur de la résorption osseuse).

2.4. Analyses de laboratoire

Les échantillons d'aliment et de fèces ont été lyophilisés (Virtis Virtual 50EI, Wizard 2,0 Control System) et par la suite broyés avec un Cyclotek-Tecator (Foss, MN, USA) à 1 mm de diamètre. La teneur en azote des fèces, de l'urine et des aliments a été évaluée selon la méthode AOAC 2001.11 (AOAC, 2002). Pour l'analyse du calcium et de phosphore dans les fèces et les aliments, les échantillons ont été préparés selon la méthode AOAC 985.01 (AOAC, 2002) et analysés par la suite avec un appareil ICP-OES (Optima 430DV, Perkin Elmer). Pour l'analyse du calcium et du phosphore dans l'urine, l'urine a été diluée (1/10 avec du HNO₃ 1N), filtrée avec un filtre 0,45 µm et analysée avec l'ICP-OES. Les quantités d'azote, de calcium et de phosphore obtenues ont servi à

établir la quantité d'éléments ingérés, la digestibilité des éléments, leur rejet, ainsi que le bilan total.

Pour les analyses sanguines, les teneurs sériques en phosphates totaux et en calcium total, ainsi que l'activité de la phosphatase alcaline ont été évalués en utilisant les essais commerciaux en suivant les recommandations du fabricant : QuantiChrom phosphate assay kit, QuantiChrom calcium assay kit, QuantiChrom alkaline phosphatase assay kit (Bioassay Systems, USA). Pour les porcs de l'essai de digestibilité seulement, la concentration en « C-terminal telopeptides type I collagen » a été déterminée en utilisant l'essai commercial, Serum CrossLaps (Immunodiagnostic systems USA), en suivant les instructions du fabricant.

2.4. Calcul de l'impact environnemental

Le bilan environnemental des porcs pour chacun des traitements de l'essai de croissance a été établi à partir des éléments consommés (azote, phosphore et calcium) et des ratios rejeté/ingéré qui ont été établis pendant l'essai de digestibilité.

La quantité d'azote, de phosphore ou de calcium ingéré par porc est calculée selon l'équation 1 :

$$(1) \quad \text{Ingéré (g/d)} = \frac{(\text{MCon} \times \% \text{MS}) \times 1000 \text{ (g/kg)} \times \frac{\text{ConN}}{100}}{\text{Durée} \times 2 \text{ porcs}}$$

MCon	=	Moulée donnée aux porcs (2) du parc (kg) – rejets du parc (kg);
%MS	=	% de matière sèche de la moulée (%);
1000 (g/kg)	=	Facteur de conversion des kg en g;
ConN	=	Concentration d'azote, de phosphore ou de calcium dans la moulée (%);

Durée = Durée de la phase alimentaire (d);
 2 porcs = Nb de porcs par parc;

La quantité de nutriment rejeté par porc est calculée selon l'équation 3 :

$$(2) \quad \text{Rejeté (g/d)} = \text{Ingéré (g/d)} \times (\text{Rejeté/Ingéré})$$

Ingéré = Quantité de nutriment ingéré pour un porc (N, P ou Ca) (g/d);
 Rejeté/Ingéré = Ratio rejeté/ingéré provenant de l'essai de digestibilité (g/g);

2.4. Calcul de l'impact économique

Les coûts évalués pour chaque porc tiennent compte seulement du coût des ingrédients et des variations des charges fixes selon la durée moyenne d'engraissement; donc les coûts de fabrication des aliments, la marge du fabricant, les frais de services, ainsi que les coûts de transport n'ont pas été inclus dans notre analyse. Pour établir les coûts des ingrédients des aliments Début, Croissance, Finition 1 et Finition 2, le document Porc 2000 (2007) a été utilisé. Le coût des céréales a été obtenu à partir des données de la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (2009). Pour l'année de référence, la moyenne du prix des années 2006-2007 a été utilisée pour le coût des céréales, ainsi que le coût des ingrédients dans le document Porc 2000 (2007) qui se référerait à l'année 2006. Ensuite, différents scénarios ont été modélisés en fonction du coût des aliments pour évaluer l'impact économique des stratégies alimentaires. Pour établir les scénarios, le prix du maïs et du tourteau de soya le plus élevé et le plus bas des années 2008-2009 ont été utilisés (Tableau 3).

Tableau 3. Coût des ingrédients pour les différents scénarios pour l'évaluation de l'impact économique des différents programmes alimentaires

	Référence ²	Maïs ↑	Soya ↑	Soya ↓	Maïs ↓
	2006-2007	juin-08	juil-08	oct-08	août-09
Ingrédient	\$/t	\$/t	\$/t	\$/t	\$/t
Blé ¹	188,82	314,92	304,67	289,33	166,06
Maïs ¹	181,00	294,88	272,32	200,33	177,22
Tourteau de soya ¹	293,00	560,04	565,60	400,72	459,02
Pierre à chaux moulue	120,00	-	-	-	-
Phosphate dicalcique 21%	470,00	-	-	-	-
Sel	125,00	-	-	-	-
DL- Methionine	3000,00	-	-	-	-
L-Lysine HCl 98%	2050,00	-	-	-	-
L-Thréonine	4150,00	-	-	-	-
Natuphos 5000 phytase liquide	-	-	-	-	-
Chlorure de Choline (51,7%)	1400,00	-	-	-	-
Prémix pré-debut/début	2420,00	-	-	-	-

¹ Le coût des céréales est obtenu à partir des données de la fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (2009)

² Le coût des aliments est obtenu à partir du document Porc 2000 (2007).

Le coût des ingrédients consommés par porc est calculé selon l'équation 3 :

$$(3) \quad \text{Coût des ingrédients (\$)} = \frac{\text{Moulée (kg)} \times \text{CoûtM (\$/t)}}{1000 \text{ (kg/t)}}$$

Moulée = Quantité d'aliments consommée par porc (kg);

CoûtM = Coût de la moulée par tonne (\\$/t);

1000 (kg/t) = Facteur de conversion d'une tonne en kg;

Pour effectuer le calcul des variations des charges fixes selon la durée moyenne d'engraissement, nous avons utilisé les données contenues dans le document Résultats technico-économiques 2005-2007 des entreprises porcines participantes au projet « Étude coût de production » (2008) de la Fédération des producteurs de porcs du Québec. Dans les frais fixes, il est inclus : l'électricité, le chauffage, l'entretien et la réparation de machineries, la main d'œuvre additionnelle, les travaux à forfait, les assurances, les taxes,

le téléphone, les intérêts sur moyen long terme et autres. La durée moyenne du groupe Témoin a été utilisée comme valeur de référence et les frais fixes ont été calculés pour chaque porc selon leur durée d'engraissement respective. Ensuite, le coût de la moulée consommée et les frais fixes ont été additionnés pour connaître le coût de chaque traitement.

2.6. Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été analysés comme un arrangement en bloc complet en utilisant la procédure Mixed du logiciel statistique SAS. Le modèle était le suivant : $Y_{ij} = \mu + B_i + D_j + e_{ij}$ où Y_{ij} est la variable dépendante, μ est la moyenne de la variable, B_i est le poids initial (effet bloc), D_j est le programme alimentaire et e_{ij} est l'effet résiduel; lorsque cela s'appliquait la durée d'engraissement était ajouté comme autre variable. La différence entre les différents programmes a été déterminée par des contrastes à priori en comparant les trois programmes de restriction, R0-21, R21-49 et R0-49, avec le programme Témoin pour les différentes variables à l'étude. Les différences significatives et les tendances ont été déterminées à une valeur de $P < 0,05$ et $< 0,10$, respectivement.

CHAPITRE 3

Résultats

3.1. Essai de croissance

Le gain moyen quotidien (GMQ) et l'efficacité alimentaire (G/F) ont été inférieurs au groupe Témoin durant les jours 0 à 21 pour les traitements R0-21 ($P=0,04$) et R0-49 ($P<0,01$) et pour les traitements R21-49 ($P<0,01$) et R0-49 ($P<0,01$) pour la période des jours 21 à 49. La baisse du GMQ a eu pour effet de réduire le poids à J21 pour les traitements R0-21 et R0-49 et à J49 pour les traitements R21-49 et R0-49 ($P<0,01$) (Tableau 4). Durant la période de réalimentation du traitement R0-21 (jours 21 à 49), les porcs ont eu une meilleure G/F ($P=0,02$) et avaient tendance à maintenir une G/F supérieure au traitement Témoin ($P=0,09$) des jours 49 à 70. Pour les porcs des traitements R21-49 et R0-49, le même patron de G/F a été observé durant leur période de réalimentation des jours 49 à 70 ($P<0,01$) et du jour 70 à l'abattage ($P<0,10$). La consommation moyenne quotidienne (CMQ) des porcs des traitements R21-49 et R0-49 ont été inférieure aux porcs du groupe Témoin durant les périodes J21 à 49 et J49 à 70 ($P<0,01$). Aucune différence significative n'a été observée pour les mesures de performances globales (GMQ, G/F), le poids de carcasse, et les différentes mesures prises sur les carcasses (Poids, Épaisseur du gras, Profondeur du muscle) à l'abattoir (Tableau 4). Par contre pour le CMQ, les porcs du traitement R21-49 ont montré une consommation quotidienne inférieure.

Pendant la phase expérimentale, les mesures de gras dorsal par ultrasons n'ont indiqué aucune différence significative entre les traitements ($P=0,97$; figure 1). Toutefois, une progression linéaire dans le temps a été observée pour tous les traitements ($P<0,01$). Pour les mesures de la profondeur de l'œil de longe, une interaction entre le temps et les

traitements a été observée ($P < 0,01$) (Figure 1). En fait, la comparaison multiple pour les trois temps a montré qu'à J46 seulement les porcs du traitement Témoin avaient une épaisseur de muscle plus élevée que ceux du traitement R0-49 ($P < 0,01$) alors qu'à J66 les traitements, Témoin, R0-21 et R21-49, avaient une épaisseur plus élevée que le traitement R0-49 ($P < 0,05$). Par contre à J87, aucune différence n'a été observée entre les traitements ($P > 0,10$).

Tableau 4. Performances zootechniques des porcs durant les différentes phases alimentaires ^c

		Traitement			Erreur
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	standard
Jour 0 à 21					
CMQ, kg/d	1,32	1,25	1,35	1,29	0,02
GMQ, kg/d	0,81	0,68 ^a	0,81	0,64 ^a	0,07
G/F	0,59	0,52 ^a	0,58	0,47 ^a	0,02
Poids initial, kg	18,8	17,7	19,2	19,2	0,6
Poids final, kg	35,0	31,3 ^a	35,3	31,9 ^a	0,9
Jour 21 à 49					
CMQ, kg/d	2,40	2,33	2,14 ^a	2,22 ^a	0,04
GMQ, kg/d	1,07	1,12	0,89 ^a	0,91 ^a	0,05
G/F	0,45	0,48 ^a	0,42 ^a	0,41 ^a	0,01
Poids final, kg	65,0	62,7	58,3 ^a	57,5 ^a	1,7
Jour 49 à 70					
CMQ, kg/d	3,22	3,17	2,87 ^a	2,96 ^a	0,06
GMQ, kg/d	1,22	1,26	1,23	1,25	0,06
G/F	0,38	0,40 ^b	0,43 ^a	0,42 ^a	0,01
Poids final, kg	90,7	89,1	83,3 ^a	83,7 ^a	2,3
Jour 70 à l'abattage					
CMQ, kg/d	3,48	3,58	3,31	3,40	0,14
GMQ, kg/d	1,15	1,18	1,19	1,26	0,11
G/F	0,33	0,33	0,36 ^b	0,37 ^a	0,01
Poids à l'abattage, kg	117,8	117,8	118,3	117,5	0,8

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin. Les zones de couleur indiquent les périodes de restriction.

Les données de la période jour 70 à l'abattage sont calculées en effectuant la moyenne des deux porcs.

Tableau 4. Suite

	Traitement				Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Global					
CMQ, kg/d	2,59	2,63	2,45 ^a	2,50	0,05
GMQ, kg/d	1,06	1,08	1,03	1,02	0,02
G/F	0,41	0,41	0,42	0,41	0,01
Quantité totale d'aliments ingérés, kg	226	235	229	226	10
Gain total, kg	99,0	97,2	98,8	98,3	3,4
Durée totale de l'engraissement, d	94,1	94,7	95,8	96,5	1,8
Mesures de carcasse					
Épaisseur du muscle, mm	65	67	66	63	1
Épaisseur du gras dorsal, mm	22	22	21	23	1
Poids de la carcasse, kg	95,1	96,8	96,9	95,7	0,8
Rendement carcasse, %	80,8	82,2	82,1	81,5	0,01

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.
 La durée totale de l'engraissement est calculée en fonction du dernier porc sorti du parc.

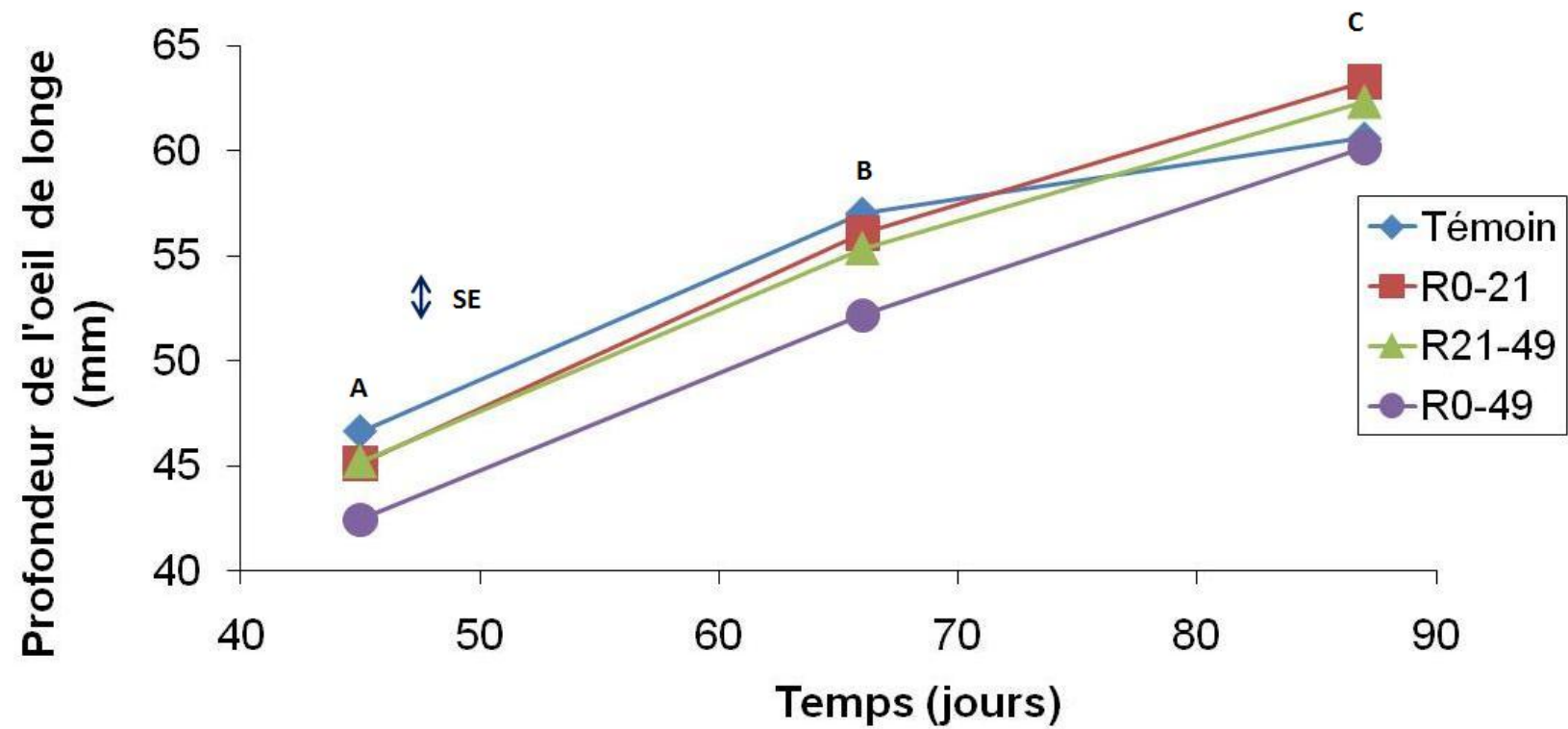


Figure 1. Profondeur de l'œil de longe des porcs mesurée par ultrasons. ^ATémoin vs R0-49 $P < 0,05$; ^BTémoin, R0-21, R21-49 vs R0-49 $P < 0,05$; ^CAucune différence.

3.2. Essai de digestibilité

3.2.1. Performances zootechniques

L'analyse statistique a démontré des différences significatives entre les porcs restreints et non restreints pour les performances zootechniques de l'essai de digestibilité (Tableau 5). Ces différences étaient semblables à celles observées pendant l'essai de croissance. Lorsque les porcs sont restreints, le GMQ et la G/F étaient plus faibles que pour les porcs non restreints ($P<0,01$). Pour la période des jours 0 à 21, les porcs du traitement R0-21 ont eu tendance à augmenter leur prise alimentaire ($P<0,10$). De plus, le poids des porcs pour les traitements R0-21 et R0-49 était inférieur à la fin de la période des jours 0 à 21 ($P<0,10$ et $P<0,05$). Les poids des porcs du traitement R0-49 étaient aussi inférieurs à la fin de sa phase de restriction ($P<0,05$) pour la période des jours 21 à 49. Pendant la période de regain des porcs R0-21 des jours 21 à 49, aucune différence significative n'a été observée. Par contre, des jours 49 à 70, les porcs du R0-21 ont eu tendance à augmenter leur prise alimentaire ($P<0,10$) et à avoir un GMQ supérieur ($P<0,10$). Pendant cette même période, une hausse de la consommation alimentaire a été observée chez les porcs R0-49 ($P<0,05$). Pour la période de regain des porcs R21-49 et R0-49, on a pu observer une augmentation du GMQ ($P<0,10$ et $P<0,05$) et une amélioration de G/F ($P<0,05$) en comparaison avec le traitement Témoin. L'augmentation du GMQ a eu tendance à se maintenir du jour 70 à l'abattage ($P<0,05$) pour le traitement R0-49. Les porcs du traitement R0-49 avaient une épaisseur de muscle supérieure aux porcs du groupe Témoin ($P<0,05$) lors des mesures prises à l'abattage. Pour les mesures de l'épaisseur de gras à l'abattage, les porcs R0-21 avaient une épaisseur supérieure ($P<0,05$) et les porcs R21-49 tendaient à avoir une épaisseur supérieure aux porcs du groupe Témoin ($P<0,10$). Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour le poids à l'abattage et les autres mesures globales de performance.

Tableau 5. Performances zootechniques des porcs pour l'essai de digestibilité durant les différentes phases alimentaires.

		Traitement			Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 0 à 21					
CMQ, kg/d	1,09	1,17 ^b	1,15	1,11	0,03
GMQ, kg/d	0,82	0,68 ^a	0,80	0,62 ^a	0,04
G/F	0,72	0,56 ^a	0,67	0,53 ^a	0,04
Poids initial, kg	19,6	20,1	20,4	20,3	0,6
Poids final, kg	36,0	33,8 ^b	36,5	32,6 ^a	0,8
Jour 21 à 49					
CMQ, kg/d	2,03	2,21	1,92	2,03	0,10
GMQ, kg/d	1,04	1,13	0,85 ^a	0,88 ^a	0,05
G/F	0,51	0,51	0,44 ^a	0,43 ^a	0,02
Poids final, kg	64,7	65,5	60,4	57,1 ^a	2,1
Jour 49 à 70					
CMQ, kg/d	2,49	2,88 ^b	2,60	2,93 ^a	0,13
GMQ, kg/d	0,91	1,21 ^b	1,22 ^b	1,47 ^a	0,10
G/F	0,36	0,42	0,47 ^b	0,51 ^a	0,04
Poids final, kg	83,7	91,0	86,0	88,1	3,2
Jour 70 à l'abattage					
CMQ, kg/d	3,35	4,24	3,39	4,39	0,19
GMQ, kg/d	1,26	1,33	1,17	1,50 ^b	0,10
G/F	0,36	0,31	0,33	0,34	0,02
Poids à l'abattage, kg	118,4	121,5	119,7	120,8	2,1

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

Tableau 5. Suite

		Traitement			Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Global					
CMQ, kg/d	2,33	2,59	2,28	2,47	0,12
GMQ, kg/d	1,02	1,08	0,98	1,05	0,04
G/F	0,44	0,42	0,43	0,43	0,01
Quantité totale d'aliments ingérés, kg	226,1	243,0	231,5	236,4	7,2
Gain total, kg	98,7	101,3	99,1	100,4	2,2
Durée totale de l'engraissement, d	97,6	94,1	102,1	96,5	3,0
Mesures de carcasse					
Épaisseur du muscle, mm	62	63	64	66 ^b	2
Épaisseur du gras dorsal, mm	21	28 ^a	25 ^b	23	1
Poids de la carcasse, kg	97,3	95,7	96,0	99,1	2,1
Rendement carcasse, %	82,1	78,7	80,2	81,9	1,4

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différent entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

3.2.2. Bilan de l'azote, du phosphore et du calcium

Comme préalablement mentionnés dans la section « matériel et méthodes », les bilans en nutriments ont été comparés sur une base quotidienne et par kilogramme de poids métabolique ($\text{kg}^{0,75}$) des animaux durant la collecte afin de réduire l'effet des variations de poids observées entre les traitements.

Bilan en azote.

Les porcs des traitements R0-21 et R0-49 ont ingéré, absorbé et retenu moins d'azote pendant la période de collecte de J14 à 20 que les porcs du groupe Témoin ($P < 0,01$) (Tableau 6). Ces réductions étaient accompagnées par une réduction de la digestibilité et du ratio retenu/ingéré ($P < 0,05$). Lors de la deuxième période de collecte, entre J35 et 41, les porcs R21-49 et R0-49 ont également ingéré et absorbé ($P < 0,05$) moins d'azote. Les porcs R0-49 ont retenu moins d'azote que les porcs du groupe Témoin ($P < 0,05$) et les porcs R21-49 ont eu tendance à retenir moins ($P < 0,10$). Contrairement à la première période de collecte, la digestibilité et le ratio retenu/ingéré des porcs restreints, les groupes R0-49 et R21-49, n'ont pas été réduits de façon significative; seule la digestibilité du groupe R0-49 tendait légèrement à diminuer ($P < 0,10$). Pendant la période de J63 à 69, une différence significative a été observée pour le traitement R0-49 avec une augmentation de la quantité d'azote ingérée ($P < 0,01$) et une augmentation de la quantité d'azote absorbé ($P < 0,01$). Cette augmentation n'était toutefois pas accompagnée d'une augmentation de l'azote retenu ou du ratio retenu/ingéré. Toujours pendant la période de J63 à 69, les porcs du traitement R0-21 tendaient à retenir plus d'azote ($P < 0,10$). Cette tendance était associée avec une augmentation de la digestibilité ($P < 0,10$). Finalement, aucune différence significative du bilan azoté n'a été observée pendant la période de collecte de J84 à 90.

Bilan en phosphore.

Lors de la première période de collecte, entre J14 et 21, les porcs des traitements R0-21 et R0-49 ont ingéré, absorbé et retenu moins de phosphore que les porcs du groupe Témoin

($P < 0,05$) (Tableau 7). De plus, la quantité de phosphore dans les fèces tendait à être moindre pour les porcs du traitement R0-49 ($P < 0,10$). Pendant la période de J35 à 41, les porcs restreints, soit les traitements R21-49 et R0-49, ont ingéré, absorbé et retenu moins de phosphore ($P < 0,05$). Ces réductions sont accompagnées par une tendance à diminuer la digestibilité, le ratio retenu/ingéré et augmente le ratio rejeté/ingéré pour le traitement R21-49 ($P < 0,10$). Les porcs du traitement R0-21 ont rejeté davantage de phosphore dans l'urine ($P < 0,05$) et ils ont un ratio retenu/absorbé inférieur ($P < 0,05$) que le groupe Témoin. Pendant la période de la troisième collecte de J63 à 69, les porcs du traitement R0-21 ont rejeté une quantité moindre de phosphore dans les fèces que le groupe Témoin ($P < 0,05$) et ils ont une digestibilité supérieure ($P < 0,05$). Ces résultats sont accompagnés d'une tendance à avoir un ratio rejeté/ingéré plus faible et un ratio retenu/ingéré plus élevé ($P < 0,10$). Le traitement R21-49 a lui aussi rejeté moins de phosphore dans ses fèces et il avait une digestibilité supérieure ($P < 0,05$) pendant cette période (J63 à 69). Toutefois, aucune augmentation du ratio retenu/ingéré n'a été observée. Toujours dans la même période, le traitement R0-49 a ingéré davantage de phosphore ($P < 0,05$). Pour la dernière collecte à la période de J84 à 90, le traitement R0-21 tendait à rejeter plus de phosphore dans l'urine ($P < 0,05$) et il avait un ratio retenu/absorbé ($P < 0,05$) inférieur au traitement Témoin. Aucune différence significative du bilan phosphoré n'a été observée pour les traitements R21-49 et R0-49 pendant cette dernière période (J84 à 90).

Bilan en calcium.

Les porcs des traitements R0-21 et R0-49 ont ingéré, absorbé et retenu moins de calcium lors de la première période de collecte de J14 à 21 ($P < 0,05$) que les porcs du traitement Témoin (Tableau 8). Les porcs du traitement R0-49 tendaient en plus des autres réductions, à rejeter moins de calcium dans ses fèces ($P < 0,10$). Les porcs du traitement R21-49 semblaient seulement rejeter moins de calcium dans son urine ($P < 0,10$). Pour la période de la deuxième collecte, entre J35 et 41, les porcs restreints des traitements R21-49 et R0-49 ont rejeté, absorbé et retenu moins de calcium ($P < 0,05$). Les porcs du traitement R21-49 ont rejeté moins de calcium dans leur urine que le groupe Témoin ($P < 0,05$). Les porcs R0-49 ont rejeté moins de calcium dans leurs fèces ($P < 0,05$). Toujours dans la même période, les porcs du traitement R0-21 ont rejeté moins de

calcium dans l'urine ($P < 0,05$). Ces résultats sont accompagnés d'une augmentation du ratio retenu/absorbé ($P < 0,05$). Lors de la période de collecte entre J63 et 69, les porcs du traitement R0-49 ont ingéré et retenu davantage de calcium ($P < 0,05$). Toutefois, aucune différence significative n'a été observée pour le ratio retenu/ingéré. Les porcs R0-49 ont eu tendance à absorber plus de calcium ($P < 0,10$). Le traitement R21-49 tendait à rejeter moins de calcium dans leurs fèces que le traitement Témoin ($P > 0,10$). Finalement, aucune différence significative n'a été observée pendant la période de collecte de J84 à 90 pour le bilan en calcium.

Tableau 6. Bilan quotidien de l'azote par kilogramme de poids métabolique pour l'essai de digestibilité chez les porcs en engraissement.

		Traitement			Erreur
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	standard
Jour 14 à 20					
Poids vif, kg	31,6	31,7	33,6	31,2	1,1
Aliment ingéré, kg/d	1,42	1,49	1,43	1,40	0,05
N Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	3,31	2,90 ^a	3,28	2,82 ^a	0,10
N Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,72	0,69	0,63 ^b	0,67	0,03
N Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,52	0,53	0,50	0,54	0,03
N Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	2,79	2,36 ^a	2,78	2,29 ^a	0,09
N Retenu, g/d·kg ^{0,75}	2,07	1,67 ^a	2,16	1,62 ^a	0,10
N Digestibilité, %	84,4	81,6 ^a	84,8	80,9 ^a	0,8
Retenu/Absorbé, %	73,7	70,5	77,3	70,6	1,6
Retenu/Ingéré, %	62,2	57,5 ^a	65,5	57,1 ^a	1,5
Rejeté/Ingéré, %	37,8	42,5 ^a	34,5	42,9 ^a	1,5

Jour 35 à 41

Poids vif, kg	54,2	53,7	52,5	48,1 ^b	1,544
Aliment ingéré, kg/d	1,98	1,84	1,85	1,80	0,119
N Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	2,96	2,78	2,20 ^a	2,28 ^a	0,15
N Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,93	0,89	0,64 ^a	0,63 ^a	0,09
N Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,42	0,39	0,34	0,39	0,04
N Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	2,54	2,38	1,86 ^a	1,89 ^a	0,12
N Retenu, g/d·kg ^{0,75}	1,61	1,50	1,22 ^b	1,26 ^a	0,13
N Digestibilité, %	85,9	86,0	84,9	82,9 ^b	1,3
Retenu/Absorbé, %	63,1	62,7	65,2	66,0	4,0
Retenu/Ingéré, %	54,4	54,2	55,6	54,8	3,8
Rejeté/Ingéré, %	45,6	45,8	44,4	45,2	3,8

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

Tableau 6. Suite

		Traitement			Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 63 à 69					
Poids vif, kg	83,1	87,2	81,7	81,0	3,2
Aliment ingéré, kg/d	2,39	2,59	2,45	2,65	0,12
N Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	2,20	2,30	2,29	2,49 ^a	0,09
N Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,88	0,63	0,89	1,17	0,16
N Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,30	0,24	0,25	0,33	0,03
N Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	1,90	2,07	2,04	2,17 ^a	0,08
N Retenu, g/d·kg ^{0,75}	1,02	1,43 ^b	1,15	1,00	0,16
N Digestibilité, %	86,2	89,9 ^b	89,2	87,1	1,2
Retenu/Absorbé, %	53,6	69,8	55,9	46,1	7,6
Retenu/Ingéré, %	46,4	62,8	49,6	40,2	6,8
Rejeté/Ingéré, %	53,6	37,2	50,4	59,8	6,8

Jour 84 à 90

Poids vif, kg	106,3	106,2	100,3	108,3	2,9
Aliment ingéré, kg/d	2,83	2,91	2,55	2,87	0,19
N Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	2,09	2,13	2,05	2,16	0,12
N Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,82	0,93	0,69	0,81	0,08
N Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,19	0,16	0,21	0,20	0,05
N Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	1,90	1,96	1,84	1,96	0,15
N Retenu, g/d·kg ^{0,75}	1,10	1,05	1,15	1,14	0,08
N Digestibilité, %	90,9	92,7	89,6	90,6	2,5
Retenu/Absorbé, %	58,2	53,4	62,9	58,6	2,7
Retenu/Ingéré, %	52,9	49,5	56,2	53,0	2,1
Rejeté/Ingéré, %	47,1	50,5	43,8	47,0	2,1

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différent entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

Tableau 7. Bilan quotidien du phosphore par kilogramme de poids métabolique pour l'essai de digestibilité chez les porcs en engraissement.

		Traitement			Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 14 à 20					
Poids vif, kg	31,6	31,7	33,6	31,2	1,1
Aliment ingéré, kg/d	1,42	1,49	1,43	1,40	0,05
P Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,595	0,471 ^a	0,578	0,446 ^a	0,019
P Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,009	0,010	0,014	0,008	0,004
P Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,225	0,211	0,227	0,183 ^b	0,017
P Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,370	0,261 ^a	0,352	0,257 ^a	0,028
P Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,361	0,251 ^a	0,339	0,248 ^a	0,027
P Digestibilité, %	61,9	55,1	59,9	57,8	4,0
Retenu/Absorbé, %	97,8	95,9	96,3	96,3	1,4
Retenu/Ingéré, %	60,4	52,9	57,7	55,9	3,9
Rejeté/Ingéré, %	39,6	47,1	42,3	44,1	3,9

Jour 35 à 41

Poids vif, kg	54,2	53,7	52,5	48,1 ^b	1,5
Aliment ingéré, kg/d	1,98	1,84	1,85	1,80	0,12
P Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,468	0,442	0,358 ^a	0,376 ^a	0,024
P Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,008	0,027 ^a	0,006	0,004	0,005
P Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,211	0,198	0,196	0,177	0,016
P Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,257	0,244	0,162 ^a	0,199 ^a	0,018
P Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,249	0,217	0,156 ^a	0,195 ^a	0,017
P Digestibilité, %	55,0	54,7	45,5 ^b	53,3	3,2
Retenu/Absorbé, %	96,9	89,0 ^a	95,8	97,9	1,6
Retenu/Ingéré, %	53,3	48,7	43,8 ^b	52,2	3,2
Rejeté/Ingéré, %	46,7	51,3	56,2 ^b	47,9	3,2

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

Tableau 7. Suite

		Traitement			Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 63 à 69					
Poids vif, kg	83,1	87,2	81,7	81	3,12
Aliment ingéré, kg/d	2,39	2,59	2,45	2,65	0,12
P Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,379	0,396	0,394	0,429 ^a	0,016
P Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,028	0,024	0,034	0,031	0,010
P Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,177	0,149 ^a	0,148 ^a	0,181	0,008
P Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,224	0,243	0,242	0,248	0,011
P Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,191	0,221	0,209	0,216	0,014
P Digestibilité, %	55,7	62,2 ^a	62,3 ^a	57,8	1,9
Retenu/Absorbé, %	84,7	90,8	86,1	87,7	4,1
Retenu/Ingéré, %	47,5	56,6 ^b	53,6	50,5	3,1
Rejeté/Ingéré, %	52,5	43,4 ^b	46,4	49,5	3,1

Jour 84 à 90

Poids vif, kg	106,3	106,2	100,3	108,3	2,9
Aliment ingéré, kg/d	2,83	2,91	2,55	2,87	0,19
P Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,295	0,302	0,279	0,294	0,020
P Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,006	0,019 ^b	0,000	0,006	0,004
P Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,104	0,104	0,117	0,106	0,016
P Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,191	0,198	0,162	0,189	0,019
P Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,185	0,179	0,163	0,182	0,017
P Digestibilité, %	64,1	65,9	58,7	64,0	4,5
Retenu/Absorbé, %	97,3	90,7 ^b	99,9	96,5	2,0
Retenu/Ingéré, %	62,1	59,7	58,8	61,8	4,6
Rejeté/Ingéré, %	37,9	40,3	41,2	38,2	4,6

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

Tableau 8. Bilan quotidien du calcium par kilogramme de poids métabolique pour l'essai de digestibilité chez les porcs en engraissement.

	Traitement				Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 14 à 20					
Poids vif, kg	31,6	31,7	33,6	31,2	1,1
Aliment ingéré, kg/d	1,42	1,49	1,43	1,4	0,05
Ca Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,797	0,571 ^a	0,815	0,578 ^a	0,369
Ca Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,029	0,016	0,014 ^b	0,026	0,005
Ca Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,257	0,231	0,310	0,171 ^b	0,033
Ca Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,540	0,340 ^a	0,505	0,407 ^a	0,036
Ca Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,511	0,324 ^a	0,490	0,383 ^a	0,035
Ca Digestibilité, %	67,4	60,6	61,6	71,0	3,9
Retenu/Absorbé, %	95,0	94,9	97,2	94,0	1,4
Retenu/Ingéré, %	63,9	57,8	59,9	66,6	4,0
Rejeté/Ingéré, %	36,1	42,2	40,1	33,4	4,0

Jour 35 à 41

Poids vif, kg	54,2	53,7	52,5	48,1 ^b	1,5
Aliment ingéré, kg/d	1,98	1,84	1,85	1,80	0,12
Ca Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,637	0,599	0,442 ^a	0,464 ^a	0,031
Ca Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,043	0,014 ^a	0,018 ^a	0,031	0,008
Ca Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,244	0,253	0,196	0,166 ^a	0,021
Ca Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,393	0,347	0,246 ^a	0,297 ^a	0,021
Ca Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,350	0,333	0,227 ^a	0,267 ^a	0,022
Ca Digestibilité, %	61,9	56,5	56,2	64,7	2,8
Retenu/Absorbé, %	89,3	96,4 ^a	93,2	90,5	2,1
Retenu/Ingéré, %	54,9	54,6	52,1	58,1	2,6
Rejeté/Ingéré, %	45,1	45,5	47,9	41,9	2,6

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

Tableau 8. Suite.

	Traitement				Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 63 à 69					
Poids vif, kg	83,1	87,2	81,7	81	3,2
Aliment ingéré, kg/d	2,39	2,59	2,45	2,65	0,12
Ca Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,457	0,478	0,474	0,516 ^a	0,018
Ca Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,007	0,005	0,007	0,005	0,001
Ca Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,171	0,156	0,140 ^b	0,163	0,011
Ca Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,311	0,317	0,329	0,353 ^b	0,015
Ca Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,304	0,312	0,322	0,349 ^a	0,015
Ca Digestibilité, %	64,5	67,1	70,1	68,6	2,3
Retenu/Absorbé, %	97,6	98,6	97,8	98,7	0,5
Retenu/Ingéré, %	63,0	66,1	68,5	67,7	2,3
Rejeté/Ingéré, %	37,0	33,9	31,5	32,3	2,3

Jour 84 à 90

Poids vif, kg	106,3	106,2	100,3	108,3	2,9
Aliment ingéré, kg/d	2,83	2,91	2,55	2,87	0,19
Ca Ingéré, g/d·kg ^{0,75}	0,432	0,448	0,411	0,435	0,031
Ca Urine, g/d·kg ^{0,75}	0,007	0,008	0,012	0,010	0,004
Ca Fèces, g/d·kg ^{0,75}	0,113	0,124	0,116	0,107	0,018
Ca Absorbé, g/d·kg ^{0,75}	0,320	0,324	0,296	0,328	0,023
Ca Retenu, g/d·kg ^{0,75}	0,031	0,316	0,284	0,318	0,022
Ca Digestibilité, %	73,1	71,8	72,1	75,0	3,1
Retenu/Absorbé, %	97,7	97,8	96,4	97,2	1,1
Retenu/Ingéré, %	71,5	70,3	69,5	72,9	3,4
Rejeté/Ingéré, %	28,5	29,7	30,5	27,2	3,4

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différent entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

3.3. Prélèvements sanguins

Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour l'urée, le phosphate, le calcium, l'alkaline phosphatase et le « C-terminal telopeptides type I collagen » ($P>0,10$). Par contre, il y a une variation significative dans le temps ($P<0,0001$) pour tous les paramètres étudiés sauf le calcium (17,35 mg/dL, SEM 0,98). Pour les facteurs sanguins associés au métabolisme phosphocalcique, les concentrations en phosphates à J14 et à J35 étaient plus faibles que celle à J63 (fig. 2, $P<0,01$) mais plus élevées que celle à J84 ($P<0,01$); la valeur à J63 était également plus élevée qu'à J84 ($P<0,01$). L'activité de la phosphatase alcaline était plus élevée à J14 et J63 qu'à J84. À J35 (fig. 3, $P<0,05$), l'activité n'est pas différente des autres jours de prélèvement. Quant à la concentration en C-terminal telopeptides type I collagen, elle a augmenté progressivement au cours de la période expérimentale (fig. 4, $P<0,05$). Finalement, la concentration en urée (marqueur général du métabolisme protéique) était plus élevée à J84 comparativement aux autres jours de prélèvement (fig. 5, $P<0,05$).

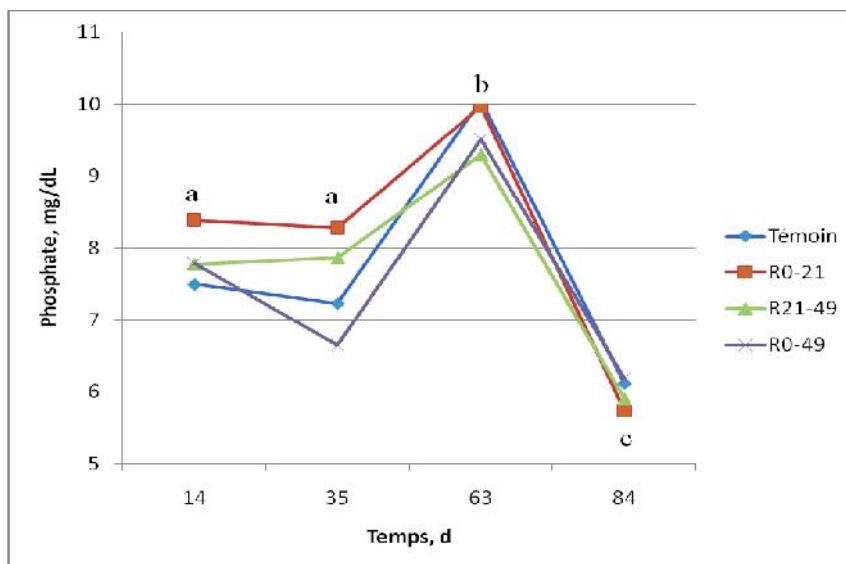


Figure 2. Concentration du phosphate (mg/dL) dans le sérum sanguin des porcs durant l'essai de digestibilité. Les temps avec des lettres différentes ont des valeurs significativement différentes.

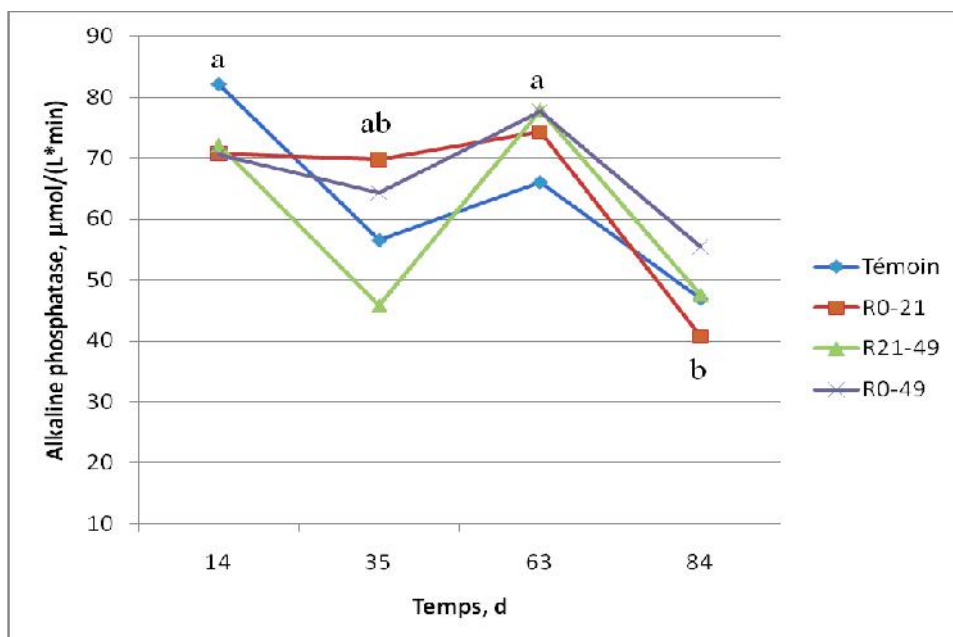


Figure 3. Activité de la phosphatase alcaline ($\mu\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$) dans le sérum sanguin des porcs durant l'essai de digestibilité. Les temps avec des lettres différentes ont des valeurs significativement différentes.

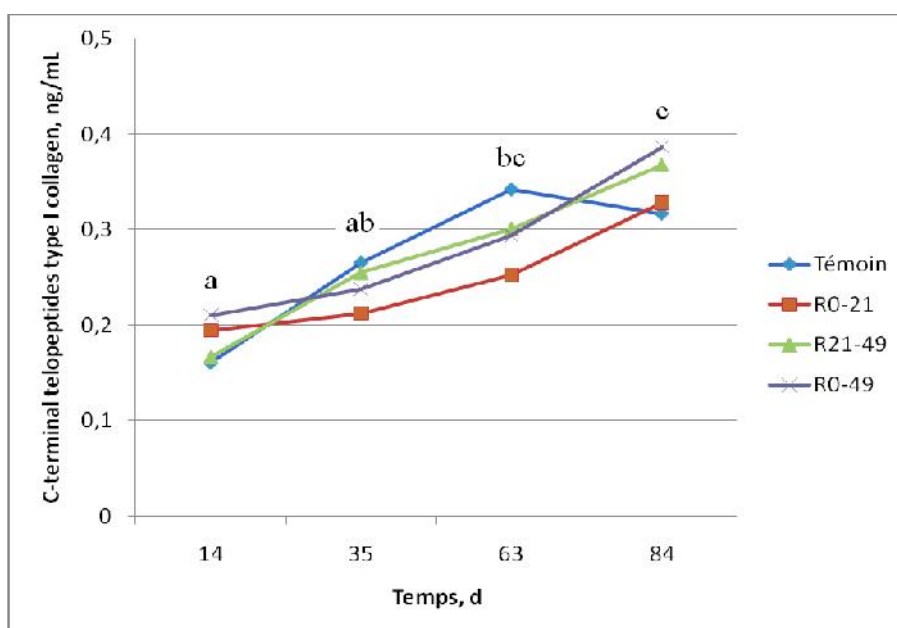


Figure 4. Concentration du «C-terminal telopeptides type I collagen» (ng/mL) dans sérum sanguin des porcs durant l'essai de digestibilité. Les temps avec des lettres différentes ont des valeurs significativement différentes.

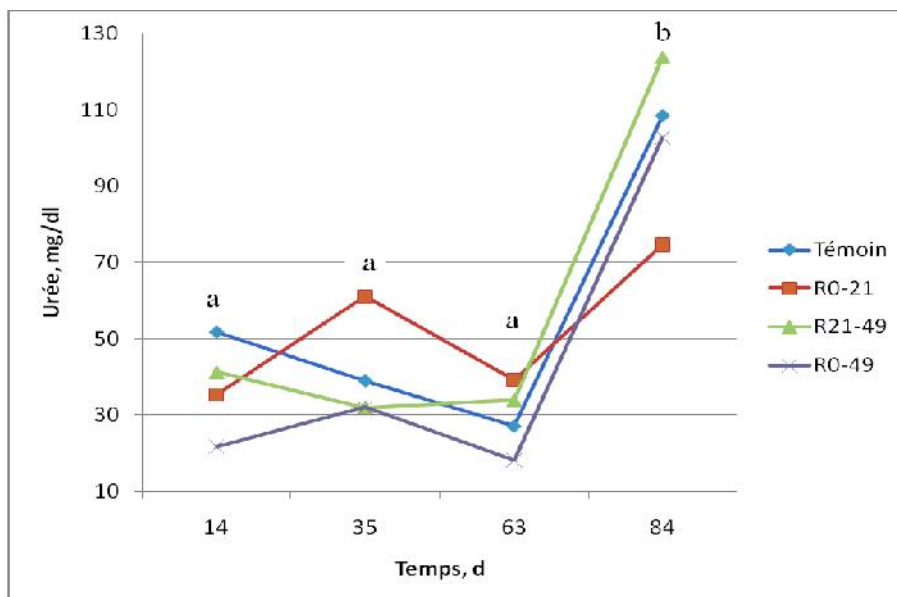


Figure 5. Concentration de l'urée (mg/dL) dans le sérum sanguin des porcs durant l'essai de digestibilité. Les temps avec des lettres différentes ont des valeurs significativement différentes.

3.4. Bilan environnemental

Tel que noté dans le matériel et méthodes, le bilan environnemental des porcs de l'essai de croissance a été établi à partir des éléments consommés (moulée consommée multipliée par la concentration en éléments des rations) et des ratios rejeté/ingéré qui ont été établis pendant l'essai de digestibilité.

Bilan environnemental en azote

Pour le bilan environnemental de l'azote, les porcs des traitements R0-21 et R0-49 ont ingéré moins ($P < 0,01$) et rejeté moins ($P < 0,01$) d'azote pendant leur période de restriction des jours 0 à 21 (Tableau 9). Les porcs du traitement R21-49 tendaient à rejeter moins d'azote que les porcs du traitement Témoin pendant la même période (J0 à 21) ($P < 0,10$). Pour la période des jours 21 à 49, les porcs des traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins d'azote ($P < 0,05$) que les porcs du groupe témoin; cependant, les porcs du traitement R0-21 tendaient seulement à rejeter moins d'azote que ceux du groupe Témoin ($P < 0,10$). Entre les jours 49 et 70, les porcs des traitements R0-21 et R21-49 ont rejeté moins d'azote ($P < 0,05$) alors que ceux du traitement R0-49 tendaient

seulement à n'en rejeter moins que le Témoin ($P<0,10$). Pendant la dernière période (J70 à l'abattage), les porcs du traitement R0-21 tendaient à rejeter plus d'azote ($P<0,10$). De façon globale, les porcs des traitements R0-21 ($P<0,05$), R21-49 et R0-49 ($P<0,01$) ont ingéré et rejeté moins d'azote que ceux du groupe Témoin.

Bilan environnemental en phosphore

Lors de la période entre J0 et 21, les porcs des traitements R0-21 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de phosphore pendant leur phase de restriction ($P<0,01$) (Tableau 10). Pour la deuxième période, entre J21 et 49, les porcs des traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de phosphore que le traitement Témoin ($P<0,01$). Pour la période des jours 49 à 70, les porcs des traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré moins de phosphore que le traitement Témoin ($P<0,01$). Les porcs des traitements R0-21, R21-49 et R049 ont rejeté moins de phosphore ($P<0,05$) que les porcs du groupe Témoin. Pour la dernière période, entre J70 et l'abattage, les porcs du traitement R0-49 tendaient à rejeter davantage de phosphore que les porcs du groupe Témoin ($P<0,10$). De façon globale, les traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de phosphore que le traitement Témoin ($P<0,01$) et les porcs du traitement R0-21 tendait à rejeter moins de phosphore que les porcs du groupe Témoin ($P<0,10$).

Bilan environnemental en calcium

Les porcs du traitement R0-21 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de calcium pendant leur période de restriction des jours 0 à 21 que les porcs du groupe Témoin ($P<0,01$) (Tableau 11). Pour la deuxième période, entre J21 et 49, les porcs des traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de calcium ($P<0,01$). De plus, les porcs du traitement R0-21 ont rejeté moins de calcium que le traitement Témoin ($P<0,01$). Lors de la période de J49 à 70, les traitements R21-49 et R0-49 ont ingéré moins de calcium. Toujours pendant la période de J49 à 70, les porcs des traitements R0-21, R21-49 et R0-49 ont rejeté moins de calcium ($P<0,05$) que les porcs du groupe Témoin. Pour la dernière période (J70 à l'abattage), les traitements R0-21 et R21-49 tendaient à rejeter plus de calcium que le groupe Témoin ($P<0,10$). De façon globale, les porcs des traitements R0-

21, R21-49 et R0-49 ont ingéré et rejeté moins de calcium que le traitement Témoin ($P < 0,05$).

Tableau 9. Estimation de la quantité d’azote ingérée et rejetée dans l’environnement pour les porcs en parc.

		Traitement			Erreur standard
		Témoin	R0-21	R21-49	
Jour 0 à 21					
N ingéré, g/d	37,09	28,32 ^a	37,95	29,32 ^a	0,91
N rejeté, g/d	13,98	12,08 ^a	13,15 ^b	12,53 ^a	0,34
Poids initial, kg	18,8	17,7	19,2	19,2	0,7
Poids final, kg	35,0	31,3 ^a	35,3	31,9 ^a	0,9
Jour 21 à 49					
N ingéré, g/d	62,97	61,16	43,11 ^a	45,08 ^a	1,42
N rejeté, g/d	29,13	27,50 ^b	18,76 ^a	20,65 ^a	0,64
Poids final, kg	65,0	62,7	58,3 ^a	57,5 ^a	1,7
Jour 49 à 70					
N ingéré, g/d	71,79	70,68	64,04 ^a	66,07 ^a	1,96
N rejeté, g/d	37,23	27,51 ^a	33,47 ^a	34,54 ^b	0,96
Poids final, kg	90,7	89,1	83,3 ^a	83,7 ^a	2,3
Jour 70 à l'abattage					
N ingéré, g/d	73,24	76,89	74,16	76,41	4,60
N rejeté, g/d	35,63	40,18 ^b	33,77	35,98	2,24
Poids à l'abattage, kg	117,8	117,8	118,3	117,5	0,8
Global					
N ingéré, g	5814,8	5690,6	5253,2 ^a	5290,3 ^a	94,4
N rejeté, g	2749,7	2593,9 ^a	2372,0 ^a	2519,9 ^a	46,8

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin. Les valeurs utilisées pour calculer la quantité d’azote ingérée et rejetée sont celles calculées dans l’essai de digestibilité.

Tableau 10. Estimation de la quantité de phosphore ingérée et rejetée dans l'environnement pour les porcs en parc.

	Traitement				Erreur standard
	Témoïn	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 0 à 21					
P ingéré, g/d	5,73	4,06 ^a	5,85	4,20 ^a	0,14
P rejeté, g/d	2,27	1,81 ^a	2,34	1,84 ^a	0,06
Poids initial, kg	18,8	17,7	19,2	19,2	0,7
Poids final, kg	35,0	31,3 ^a	35,3	31,9 ^a	0,9
Jour 21 à 49					
P ingéré, g/d	8,75	8,49	6,29 ^a	6,54 ^a	0,20
P rejeté, g/d	4,08	4,21	3,43 ^a	3,13 ^a	0,10
Poids final, kg	65,0	62,7	58,3 ^a	57,5 ^a	1,7
Jour 49 à 70					
P ingéré, g/d	10,82	10,64	9,65 ^a	9,97 ^a	0,30
P rejeté, g/d	5,68	4,66 ^a	4,52 ^a	4,94 ^a	0,14
Poids final, kg	90,7	89,1	83,3 ^a	83,7 ^a	2,3
Jour 70 à l'abattage					
P ingéré, g/d	9,37	9,84	9,48	9,77	0,59
P rejeté, g/d	3,56	3,97	3,75	3,78 ^b	0,23
Poids à l'abattage, kg	117,8	117,8	118,3	117,5	0,8
Global					
P ingéré, g	818,3	789,5	774,7 ^a	739,6 ^a	12,5
P rejeté, g	367,1	351,8 ^b	336,2 ^a	330,1 ^a	5,4

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différent entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin. Les valeurs utilisées pour calculer la quantité de phosphore ingérée et rejetée sont celles calculées dans l'essai de digestibilité.

Tableau 11. Estimation de la quantité de calcium ingérée et rejetée dans l'environnement pour les porcs en parc.

	Traitement				Erreur standard
	Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
Jour 0 à 21					
Ca ingéré, g/d	8,10	4,93 ^a	8,28	5,11 ^a	0,20
Ca rejeté, g/d	2,92	1,94 ^a	3,08	1,73 ^a	0,07
Poids initial, kg	18,8	17,7	19,2	19,2	0,7
Poids final, kg	35,0	31,3 ^a	35,3	31,9 ^a	0,9
Jour 21 à 49					
Ca ingéré, g/d	11,90	11,55	7,74 ^a	8,07 ^a	0,26
Ca rejeté, g/d	5,36	4,85 ^a	3,43 ^a	3,38 ^a	0,11
Poids final, kg	65,0	62,7	58,3 ^a	57,5 ^a	1,7
Jour 49 à 70					
Ca ingéré, g/d	12,95	12,75	11,55 ^a	11,91 ^a	0,35
Ca rejeté, g/d	4,83	4,29 ^a	3,61 ^a	3,85 ^a	0,12
Poids final, kg	90,7	89,1	83,3 ^a	83,7 ^a	2,3
Jour 70 à l'abattage					
Ca ingéré, g/d	13,51	14,17	13,68	14,09	0,84
Ca rejeté, g/d	3,64	4,25 ^b	4,09 ^b	3,81	0,25
Poids à l'abattage, kg	117,8	117,8	118,3	117,5	0,8
Global					
Ca ingéré, g	1100,6	1044,6 ^a	983,8 ^a	956,6 ^a	17,2
Ca rejeté, g	400,6	371,8 ^a	341,6 ^a	312,8 ^a	5,6

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin. Les valeurs utilisées pour calculer la quantité de calcium ingérée et rejetée sont celles calculées dans l'essai de digestibilité.

3.5. Performances économiques

Comme noté dans la section « matériel et méthodes », les coûts évalués dans cette section tiennent compte seulement du coût des ingrédients et des variations des charges fixes en fonction la durée moyenne d'engraissement (Tableau 12). Les coûts des ingrédients et les coûts des ingrédients plus les charges fixes sont plus faibles pour tous les scénarios de variation des prix des grains pour le traitement R21-49. Les porcs du traitement R0-49 tendaient à avoir un coût des ingrédients inférieur lorsque le prix par tonne du tourteau de soya était le double de celui de maïs ($P < 0,10$). Le traitement R0-49 avait un coût des ingrédients et des ingrédients plus charges fixes inférieur lorsque le prix du tourteau de soya était plus de 2,5 fois plus élevé que celui du maïs ($P < 0,05$ et $P < 0,10$). Aucune différence significative n'a été observée entre le traitement Témoin et le traitement R0-21 pour tous les scénarios à l'étude. Aucune différence significative n'a été observée pour les charges fixes.

Tableau 12. Coût des aliments consommés et des charges fixes pour chaque traitement

				Traitement				Erreur standard
				Témoin	R0-21	R21-49	R0-49	
<u>Coût des aliments consommés</u>				\$/porc	\$/porc	\$/porc	\$/porc	
Prix des ingrédients (\$)								
Maïs	Tourteau de soya	Ratio (Tourteau/Maïs)						
181	293	1,61	Référence^b	52,59	52,51	49,98 ^a	51,36	0,58
294	560	1,90	maïs ↑^c	86,47	86,29	82,07 ^a	84,30	0,95
272	565	2,08	soya ↑	82,64	82,35	78,19 ^a	80,21 ^b	0,90
200	400	2,00	soya ↓	63,75	63,54	60,34 ^a	61,90 ^b	0,70
177	459	2,59	maïs ↓	57,77	57,30	54,10 ^a	55,23 ^a	0,62
Charges fixes				18,83	18,93	19,15	19,29	0,36
<u>Coût + charges fixes</u>								
181	293	1,61	Référence^b	71,42	71,44	69,13 ^a	70,65	0,73
294	560	1,90	maïs ↑^c	105,30	105,23	101,22 ^a	103,60	1,07
272	565	2,08	soya ↑	101,46	101,29	97,34 ^a	99,51	1,02
200	400	2,00	soya ↓	82,58	82,47	79,49 ^a	81,18	0,84
177	459	2,59	maïs ↓	76,60	76,23	73,25 ^a	74,52 ^b	0,76

^a La lettre indique si les traitements sont significativement différents à $\alpha = 0,05$ et la lettre ^b indique une tendance (les traitements sont différents entre $\alpha = 0,10$ et $\alpha = 0,05$) par rapport au groupe Témoin.

^b La référence représente le prix moyen du tourteau de soya et du maïs pour la période 2006-2007

^c Pour les autres scénarios, les prix les plus faibles et les plus élevés du maïs et du tourteau de soya ont été choisis pour la période 2008-2009. maïs ↑, juin-08; soya ↑, juil-08; soya ↓, oct-08; maïs ↓, août 09.

Le coût des aliments est obtenu à partir de la fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (2009) et du document Porc 2000 (2007).

Les charges fixes proviennent des résultats technico-économiques 2007 de la Fédération des producteurs de porcs du Québec (2008).

Le coût des aliments consommés et les charges fixes sont calculés pour un porc.

DISCUSSION

- **Objectif 1** : Évaluer la capacité des porcs en croissance-finition à rattraper un retard de croissance causé par une restriction qualitative des apports en acides aminés et en phosphore-calcium (gain compensatoire) en fonction de la durée de la restriction;

Comme rapporté dans plusieurs études (Chiba et al., 1999; Fabian et al., 2002; Smith et al., 1999; Kamalakar et al., 2009), la restriction modérée en acides aminés appliquée dans notre étude a mené à une réduction significative du GMQ et du ratio G/F peu importe le moment de la restriction (soit entre 20 et 35 kg ou entre 35 et 60 kg). Suite à la restriction, les porcs ont compensé partiellement le retard de croissance, en améliorant l'efficacité alimentaire en période de réalimentation, confirmant les résultats obtenus par d'autres auteurs (Fabian et al., 2002; 2004; Therkildsen et al., 2004; Prince et al., 1983; Chiba, 1995). Il faut noter que la période de regain semble s'étirer sur une plus longue période, c'est-à-dire sur plus d'une quarantaine de jours peu importe le moment ou la durée de la restriction. Ces résultats diffèrent quelque peu de ceux obtenus par Fabian et al. (2002) et Smith et al. (1999) qui avaient obtenu une période de regain plus restreinte suite à la restriction. Durant la période de réalimentation, les porcs n'ont pas augmenté leur consommation d'aliment. Cette observation avait aussi été faite dans d'autres études (Fabian et al., 2002; Smith et al., 1999; Chiba, 1995) démontrant que l'augmentation des besoins en nutriments pour combler le retard de croissance ne conduisait pas à une augmentation de la consommation mais plutôt par une augmentation de l'efficacité d'utilisation des nutriments ingérés.

La durée de la restriction est connue pour avoir un effet majeur sur la capacité du porc à compenser son retard de croissance (Prince et al., 1983; Kamalakar et al., 2009). Dans le cadre de notre étude, la durée de restriction variait entre 21 et 49 jours. À 49 jours de restriction, les porcs ont montré une compensation suffisante pour rattraper le retard de croissance et donc obtenir une durée d'engraissement équivalente au groupe Témoin (94,1 vs 96,5 jours). Ces résultats sont en accord avec ceux de Therkildsen et al. (2002;

2004) qui ne rapportaient aucune différence pour la durée d'engraissement avec une durée de restriction de 50 jours. Toutefois, d'autres études rapportaient des différences pour des durées de restriction de 50 à 60 jours (Kamalakar et al., 2009). L'intensité de la restriction pourrait venir expliquer les différences obtenues entre ces études; une intensité de restriction plus importante (40 % de restriction) pourrait affecter la croissance globale de façon trop importante pour permettre une compensation complète du retard de croissance.

- **Objectif 2 :** Évaluer l'impact de différentes stratégies restriction-réalimentation sur le gain moyen quotidien et la conversion alimentaire afin de déterminer la stratégie qui est la plus rentable sur le plan technique;

Les résultats globaux montrent que le gain compensatoire (restriction-regain) a permis de maintenir les performances techniques globales des porcs, incluant la croissance (GMQ), l'efficacité alimentaire, la quantité totale d'aliments ingérée et la durée totale d'engraissement. Ces résultats sont en accord avec ceux de Chiba (1995), Reynolds et O'Doherty, (2006), Fabian et al. (2002) et Smith et al. (1999) mais sont contraires à ceux rapportés par d'autres études (O'Connell et al., 2006; Chiba et al., 1999). Ces derniers rapportaient une réduction de la croissance globale, malgré un certain regain. Dans le contexte de notre étude, où la restriction qualitative était modérée (environ 30 % de restriction) et a été appliquée pendant une période de 21 à 49 jours entre 20 et 65 kg de poids vif, il semble que le porc soit en mesure de compenser complètement le retard de croissance sans affecter les performances globales de l'élevage.

Les résultats de la présente étude ont montré que les caractéristiques de la carcasse, profondeur de l'œil de longe, épaisseur du gras dorsal, poids de carcasse et rendement de carcasse, n'ont pas été affectées par les différentes stratégies de restriction-regain. Ces résultats sont contraires à ceux de certaines études (Heyer et Lebret, 2007; Oksbjerg et al., 2002; Martinez-Ramirez et al., 2009) où il a été montré que la restriction/regain réduisait l'épaisseur de gras dorsal sur la carcasse. Toutefois, il faut noter que ces études

avaient restreint l'apport en énergie (c.-à-d. une restriction de la quantité d'aliment servie) contrairement à notre étude où on a limité la quantité d'acides aminés, de phosphore et de calcium.

- **Objectif 3 :** Estimer l'impact des stratégies alimentaires restriction-réalimentation sur les rejets en phosphore et en azote dans les effluents;

L'étude du bilan en azote nous a montré que lors des périodes de restriction en azote les porcs ingéraient et retenaient moins d'azote et étaient généralement moins efficace à retenir l'azote ingéré (ration retenu/ingéré inférieur) tel que rapporté par O'Connell et al. (2006) et par Fabian et al. (2004). Par contre en période de regain, aucune différence majeure n'a été notée à l'exception d'une tendance des porcs du groupe R0-21 à augmenter l'azote retenu pendant la période J49 à J70 (40,8 vs 28,1 g/d d'azote). Ces résultats sont, en partie, contraires à ceux obtenus par Fabian et al. (2004) qui notaient une amélioration de 59 % de l'efficacité d'utilisation de l'azote (ratio retenu/ingéré) en période de regain. Toutefois en plus du bilan en azote, il faut noter que l'épaisseur de l'œil de longe mesurée à J46 et J66, qui était plus faible pour le traitement R0-49, était la même pour tous les traitements à J87 suggérant que les porcs parviennent à combler leur retard en augmentant la synthèse de protéines dans le muscle lors de la période de regain. D'ailleurs, Martinez-Ramirez et al. (2008; 2009) ont montré une augmentation du dépôt protéique corporelle en période de regain.

Au-delà du bilan en azote, on peut noter que bien que les valeurs des ratios azote rejeté/ingéré en période regain ne soient pas améliorées, le bilan environnemental en azote nous a montré une réduction significative de l'azote rejeté pour tous les traitements de restriction/regain. Selon ces estimation, on peut prévoir une réduction du rejet d'azote de près de 14 % avec le traitement R21-49 comparativement au traitement Témoin; il faut noter que les aliments du traitement Témoin étaient formulés selon les besoins et étaient complémentés en acides aminés de synthèse.

Comme pour l'azote, l'étude du bilan en phosphore a montré une réduction du phosphore ingéré et retenu en période de restriction. En période de regain, les porcs du traitement R0-21 ont eu tendance à avoir une amélioration de leurs ratios phosphore retenu/ingéré et rejeté/ingéré comparativement au groupe Témoin. Ces résultats sont les premiers rapportés sur le sujet et montrent que les porcs peuvent augmenter leur efficacité d'utilisation du phosphore suite à une restriction en phosphore/calcium. Cependant, les données obtenues dans notre étude n'ont pu montrer une augmentation significative du phosphore, ainsi que du calcium retenu pendant la période de regain. L'absence de changement dans les dépôts du phosphore et du calcium suggère que le métabolisme osseux n'est pas modifié d'une façon significative par la restriction en phosphore/calcium. D'ailleurs, les indicateurs sanguins du métabolisme osseux (phosphates, calcium, phosphatase alcaline, C-terminal telopeptides type I collagen) n'ont pas été modifiés par les différents traitements de restriction.

On peut toutefois observer que malgré l'absence d'effet significatif sur le dépôt en phosphore, les données du bilan environnemental en phosphore ont montré que les différents traitements de restriction/regain permettaient de réduire les rejets en phosphore de 4 à 10 % comparativement au traitement Témoin. Il faut noter que cette diminution a été obtenue avec des aliments déjà réduits en phosphore et complétés en phytase visant à minimiser les rejets en phosphore. Ces réductions en phosphore dans les effluents d'élevage peuvent avoir un impact positif pour les producteurs qui se trouvent dans des régions à forte concentration de phosphore.

- **Objectif 4 :** Évaluer l'impact de différentes stratégies restriction-réalimentation sur le gain moyen quotidien et la conversion alimentaire afin de déterminer la stratégie qui est la plus rentable sur le plan économique;

Le dernier élément étudié dans le cadre de ce projet consistait à évaluer l'impact économique des différents scénarios de restriction/regain. Dans le cadre de l'étude nous nous sommes intéressés seulement aux coûts des aliments ainsi qu'aux charges fixes;

bien que ces charges ne tiennent pas compte de l'ensemble des coûts de production, elle représente près de 60 % du coût de production total. Suite à l'analyse des données, on peut observer que le traitement R21-49 mène à une réduction des charges étudiées de 2,29 à plus de 4,00 \$ par porc comparativement au traitement Témoin. Cette baisse de 4,00 \$ par porc représente une diminution de plus de 2 % pour un coût de production de 175 \$ par porc (coût de production pour l'année 2008, FPPQ, 2009). Il faut toutefois être prudent avec ces chiffres, puisqu'ils ont été obtenus dans des conditions d'élevage particulières. Ils devraient donc être confirmés par une étude à plus grande échelle dans un contexte s'approchant plus des conditions commerciales.

Conclusion générale

Pour conclure, ces résultats démontrent que les performances globales des porcs n'ont pas été affectées par la restriction en lysine, en phosphore et en calcium suivie d'une période de récupération. Ces résultats prouvent que les porcs peuvent combler le retard de croissance dû à une restriction qualitative en nutriments. De plus, le gain compensatoire a aussi un impact positif sur le bilan environnemental et sur les performances économiques. Cette stratégie alimentaire pourrait être une alternative intéressante pour les producteurs porcins qui désirent avoir des pratiques plus respectueuses de l'environnement et qui désirent réduire leur coût d'alimentation.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS

- Chiba, L. I. 1995. Effects of nutritional history on the subsequent and overall growth performance and carcass traits of pigs. *Livest. Prod. Sci.* 41 :151-161.
- Chiba, L. I., Ivey, H. W., Cummins, K. A., Gamble, B.E. 1999. Growth performance and carcass traits of pigs subjected to marginal dietary restrictions during grower phase. *J. Anim. Sci.* 77:1769-1776.
- Critser, D. J., Miller, P. S., Lewis, A. J. 1995. The effects of dietary protein concentration on compensatory growth in barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 73 :3376-3383.
- Donker, R. A., Den Hartog, L. A., Brascamp, E. W., Merks, J. W. M., Noordewier, G. J. Buiting, G. A. J. 1986. Restriction of feed intake to optimize the overall performance and composition of pigs. *Livest. Prod. Sci.* 15 :353-365.
- Dourmad, J. Y., Guingand, N., Latimier, P., Sève, B. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production : France. *Livest. Prod. Sci.* 58 :199-211
- Ekpe, E. D., Zijlstra, R. T., Patience, J. F. 2002. Digestible phosphorus requirement of grower pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 82:541-549.
- Fabian, J. Chiba, L. I., Frobish, L. T., McElhenney, W. H., Kuhlbers, D. L., Nadarajah, K. 2004. Compensatory growth and nitrogen balance in grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 82:2579-2587.
- Fabian, J., Chiba, L. I., Kihlers, D. L., Frobish, L. T., Nadarajah, K., Kerth, C. R., McElhenney, W. H., Lewis, A. J. 2002. Degree of amino acid restrictions during the grower phase and compensatory growth in pigs selected for lean growth efficiency. *J. Anim. Sci.* 80 :2610-2618.
- Farnum, C. E., Lee, A. O., O'Hara, K., Wilsman, N. J. 2003. Effect of short-term fasting on bone elongation rates: an analysis of catch-up growth in young male rats. *Pediatric Research* 53 :33-41.
- Fédération des groupes conseils agricoles du Québec, 2006. Coût de production du porc et du porcelet auprès d'entreprises spécialisées en production porcine pour l'année 2004. Fédération des producteurs de porcs du Québec.
- Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2009. Rapport de l'étude coût de production 2008 et évolution 2006-2008 des entreprises porcines participantes à l'étude de la Fédération des producteurs de porcs du Québec.

Gafni, R. I., Weise, M., Robrecht, D. T., Meyers, J. L., Barnes, K. M., De-Levi, S., Baron, J. 2001. Catch-up growth is associated with delayed senescence of growth plate in rabbits. 50 :618-623.

Heyer, A., Lebret, B. Compensatory growth response in pigs: effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. J. Anim. Sci. 85 :769-778.

Kamalakar, R. B., Chiba, L. I., Divakala, K. C., Rodning, S. P., Welles, E. G., Bergen, W. G., Kerth, C. R., Kuhlers, D. L., Nadarajah, N. K. 2009. Effect of the degree and duration of early dietary amino acid restrictions on subsequent and overall pig performance and physical and sensory characteristics of pork. J. Anim. Sci. 87:3596-3606.

Knowlton, K. F., Radcliffe, J. S., Novak, C. L., Emmerson, D. A. 2004. Animal management to reduce phosphorus losses to the environment. J. Anim. Sci. 82(Suppl) E173-E195

Lovattio, P. A., Sauvant, D., Van Milgen, J. 2000. Étude et modélisation du phénomène de croissance compensatrice chez le porc. Journées Rech. Porcine en France 32 :241-246.

Martinez, H. R., de Lange, C. F. M. 2005. Nutrition induced variation in body composition, compensatory growth, cortisol and leptin in growing pigs. J. Anim. Sci. (Suppl. 1) 83 : 214.

Martinez, H.R., Jeaurond, E.A., de Lange, C.F.M. 2008. Dynamics of body protein deposition and changes in body composition after sudden changes in amino acid intake : I. Barrows. J. Anim. Sci. 86:2156-2167.

Martinez, H.R., Jeaurond, E.A., de Lange, C.F.M. 2009. Nutrition-induced differences in body composition, compensatory growth and endocrine status in growing pigs. Animal 3:228-236

O'Connell, M.K., Lynch, P.B., O'Doherty, J.V. 2006. The effect of dietary lysine restriction during grower phase and subsequent dietary lysine concentration during the realimentation phase on the performance, carcass characteristics and nitrogen balance of growing-finishing pigs. Livest. Sci. 101:169-179.

Oksbjerg, N., Sorensen, M. T., Vestergaard, M. 2002. Compensatory growth and its effect on muscularity and technological meat quality in growing pigs. Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci. 52:85-90.

NRC. 1998. Pages 111-114 dans Nutrient requirement of swine. 10th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington DC.

Prince, T. J., Jungst, S. B., Kuhler, D. L. 1983. Compensatory responses to short-term feed restriction during the growing period in swine. J. Anim. Sci. 56 :846-852.

Réseau d'alerte et d'information zoosanitaire – RAIZO, 2006. Revue d'épidémiosurveillance animale du RAIZO, Bilan 2005. Institut national de santé animale et Centre québécois d'inspection des aliments et de santé animale.

Reynolds, A. M., O'Doherty, J. V. 2006. The effect of amino acid restriction during the grower phase on compensatory growth, carcass composition and nitrogen utilisation in grower-finisher pigs. *Livest. Sci.* 104 :112-120.

Smith, J. W., Tokach, M. D., O'Quinn, P. R., Nelssen, J. L., Goodband, R. D. 1999. Effects of dietary energy and lysine:calorie ratio on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 77 :3007-3015.

Therkildsen, M., Riis, B., Kristensen, L., Erthjerg, P., Purslow, P. P., Aaslyng, M. D., Oksbjerg, N. 2002. Compensatory growth response in pigs, muscle protein turn-over and meat texture: effects of restriction/realimentation period. *Anim. Sci.* 75 : 367-377.

Therkildsen, M., Vestergaard, M., Busk, H., Jensen, M. T., Riis, B., Karlsson A. H., Kristensen, L., Erthjerg, P., Oksbjerg, N. 2004. Compensatory growth in slaughter pigs-in vitro muscle protein turnover at slaughter, circulating IGF-I, performance and carcass quality. *Livest. Prod. Sci.* 88 :63-75.

Whang, K. Y., Donovan, S. M., Easter, R. A. 2000. Effect of protein deprivation on subsequent efficiency of dietary protein utilisation in finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13 :659-665.

REMERCIEMENTS

Fédération des producteurs de porcs du Québec
Centre de Développement du porc du Québec Inc.

CRSNG

Université Laval

Centre de recherches en sciences animales de Deschambault

Frédéric Guay

Jean F. Bernier

Robert Fillion

Marie-Josée Turgeon

Martin Lessard

Mélanie Roy

Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec



