

Digestibilité vraie du phosphore de tourteaux de colza métropolitains et effet de l'ajout de phytase chez le porc en croissance

Maria VILARIÑO (1), Alain QUINSAC (2), Didier GAUDRÉ (3), Patrick CALLU (1), Michel MAGNIN (4), Daniel PLANCHENAU (4), Edouard CHARLEMAGNE (5), Vincent GERFAULT (6), Corinne PEYRONNET (7)

(1) ARVALIS - Institut du végétal, Pouligne, 41100 Villerable, France

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

(3) IFIP - Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu, France

(4) MIXscience, Centre d'affaires Odysée, ZAC Cité Blossac CS 17228, 35172 Bruz, France

(5) Nutréa Nutrition Animale, Le Moulin du Baudry, 56440 Languidic, France

(6) MG2MIX, La Basse Haye, 35220 Chateaubourg, France

(7) Terres Univia, 11 rue de Monceau, CS 60003 75008 Paris, France

m.vilarino@arvalisinstitutduvegetal.fr

Digestibilité vraie du phosphore des tourteaux de colza métropolitains et effet de l'ajout de phytase chez le porc en croissance

Le tourteau de colza métropolitain (TC) est de plus en plus utilisé pour l'alimentation des porcs mais la digestibilité du phosphore (P) est peu connue, ce qui peut être un frein à son incorporation en cas de sous-estimation. Deux essais ont permis de mesurer la digestibilité fécale apparente (daP) et vraie (dvP) et le coefficient de rétention du phosphore (crP), de quatre TC d'origines différentes (essai 1), et l'effet de doses croissantes (0, 250, 500, 750 et 1000 FTU/kg) d'une phytase microbienne sur les deux lots extrêmes (essai 2). Parmi quatre lots de TC (essai 1), un seul présente une dvP de 33 % (valeur comparable à la daP des tables INRA-AFZ, 2004), alors que celle des trois autres est supérieure à 45 %. Sur deux de ces lots (essai 2), la dvP est corrélée positivement à l'ajout de phytase dans l'aliment avec toutefois un palier (500 FTU/kg) à partir duquel l'efficacité de la phytase est moindre. Néanmoins, les dvP des aliments sans phytase (26,4 % et 25,1 %) sont inférieures à celles mesurées dans l'essai 1 six mois plus tôt avec les mêmes lots (45,6 et 33,1 %). Ce dernier résultat inattendu a donné lieu à un troisième essai, dans lequel les dvP ont été de 15,3 % et 25,2 % respectivement, confirmant une dégradation importante de la digestibilité de l'un des deux lots. L'ensemble de ces résultats montre que la teneur en phosphore digestible peut être variable d'un lot à l'autre, et confirme l'efficacité de la phytase sur ce substrat. L'hypothèse de dégradation de la digestibilité du phosphore avec la durée de conservation mérite d'être étudiée de manière plus approfondie.

True digestibility of phosphorus in metropolitan French rapeseed meals and effect of phytase addition in growing pigs

Rapeseed meal (TC) is more and more used in pig feed but phosphorus (P) digestibility is not well known. This lack of knowledge could be an obstacle to its incorporation in case P digestibility is underestimated. Two trials were carried out to measure the apparent (daP) and true (dvP) total tract phosphorus digestibility and the coefficient of phosphorus retention (crP) of four TC from different origins (trial 1) and a dose response trial (0, 250, 500, 750 and 1000 FTU/kg) with one microbial phytase on the two extreme TC batches (trial 2). Among 4 batches of TC (trial 1), only one has a dvP of 33% (near of the reference value daP in INRA-AFZ Tables, 2004), whereas the dvP is higher than 45% for the others. On two batches (trial 2), the dvP is positively correlated with the phytase addition in feed but a limit exists (500 FTU/kg) beyond which phytase efficacy is lower. In trial 1, the dvP of feed without phytase (26.4% and 25.1%) are lower than the corresponding values measured six months before in the same TC batches (45.6% and 33.1%). This unexpected last result leads to a third trial in which the dvP are of 15.3% and 25.2%, confirming high phosphorus digestibility degradation in one batch. These results show that the digestible phosphorus content may be variable from one batch to another, and confirm the phytase efficacy on this substrate. The hypothesis of phosphorus digestibility degradation with the length of storage needs further investigation.

INTRODUCTION

La maîtrise des rejets en phosphore (P) constitue un enjeu environnemental important pour la production porcine notamment dans les régions du Grand Ouest de la France. Or, l'alimentation constitue la voie la plus intéressante pour limiter l'excrétion de P par les porcs. Ainsi, une meilleure connaissance de l'apport en P de chaque matière première contribue à un meilleur ajustement de la composition de l'aliment aux besoins des porcs et donc à réduire les rejets dans l'environnement.

Le tourteau de colza (TC) est une matière première produite sur le territoire national qui permet de réduire notre dépendance vis-à-vis du tourteau de soja d'importation. Une des limites à son incorporation accrue dans les aliments porcs, dans certains contextes de prix, réside dans l'importance de la fraction indigestible de P. Or, à notre connaissance, une seule valeur de digestibilité du P de TC d'origine française a été publiée (Skiba *et al.*, 2000) et correspond à la valeur rapportée dans les tables INRA-AFZ (2004), soit 32 %. Par ailleurs, la proportion de phosphore phytique (Pphy) du TC, qui représente la partie indigestible sans ajout d'enzymes, a été très peu mesurée dans les TC d'origine française. Son intérêt comme indicateur de la digestibilité du P des matières premières n'est pas prouvé, en tout cas pour les matières premières ayant subi un process technologique.

1. MATERIEL ET METHODES

Huit lots de TC métropolitains de différentes usines, ont été collectés et soumis à des analyses de composition chimique, dont la teneur en Pphy par HPLC. C'est sur la base de ces analyses que les TC à évaluer dans les essais sur animaux ont été choisis. Les trois essais ont été réalisés à la Station Expérimentale d'ARVALIS - Institut du végétal de Villerable (41). Le protocole utilisé a été évalué favorablement par le Comité d'Ethique n°19 et autorisé par le MENESR conformément à la Directive 2010/63/UE relative à l'utilisation d'animaux à des fins scientifiques.

1.1. Matières premières et aliments

Pour tous les essais, le TC a été incorporé à 25 % dans des aliments semi-synthétiques formulés à base d'amidon de maïs, de sucre, d'huile, d'acides aminés et d'un mélange de vitamines et de minéraux. Un aliment dépourvu de P a été formulé de façon à pouvoir déterminer les pertes endogènes de P non spécifiques et calculer ainsi une digestibilité vraie ou standardisée du P (Almeida et Stein, 2010).

Pour mesurer la digestibilité du P (sans nécessité de faire de calculs par différence), la source unique de P dans les aliments provient des tourteaux évalués et l'apport est maintenu en-dessous du besoin. En fait, le P digestible (Pd) théorique (à 32 % de digestibilité) ingéré par les animaux, tous essais confondus, va de 1,6 à 2,4 g/j, soit un niveau très inférieur au besoin (4,7 g/j à 60 kg de poids vif (PV) ; Jondreville et Dourmad, 2005). De fortes relations existent entre le métabolisme du P et celui du calcium (Ca) pour le dépôt de tissus osseux notamment, mais également pour l'absorption intestinale du P (un excès de Ca pouvant diminuer l'absorption du P). Ainsi, les apports en Ca ont été équilibrés par rapport à ceux en P sur la base d'un ratio Ca/Pd équivalent entre tous les régimes (valeur prévisionnelle) proche de 2,7 (Jondreville et Dourmad, 2005).

1.2. Animaux et mesures

Dans les trois essais, les animaux utilisés sont des mâles castrés issus d'un croisement entre un mâle Piétrain x Large White et une truie Youna, d'environ 50 kg en début d'essai. Les mesures de digestibilité du P apparente (daP) ont été réalisées à partir d'une collecte totale de fèces pendant 5 jours, après 14 jours d'adaptation à l'hébergement et à l'aliment. Les urines ont été collectées séparément pour déterminer le coefficient de rétention du P (crP). La digestibilité vraie du P (dvP) a été calculée à partir des valeurs de daP de chaque animal, corrigées par une valeur moyenne de pertes endogènes de P (fécale et urinaire). Cette valeur, établie à 0,028 g/kg de matière sèche ingérée, a été mesurée sur les animaux de l'essai 1, consommant un aliment dépourvu de P.

Le niveau de rationnement des animaux a été fixé à 3,5 % du PV (sur la base d'un aliment à 87 % de matière sèche). Les aliments ont été distribués sous forme de farine humidifiée à l'auge en deux repas égaux par jour.

1.3. Dispositif expérimental

1.3.1. Essai 1. Variabilité de la digestibilité du phosphore

Suite au screening de la composition chimique et de la caractérisation du P des TC, quatre d'entre eux (TC1 à TC4) ont été choisis selon leur niveau de P, de Pphy et de la solubilité des protéines dans le KOH. Ils ont été utilisés pour réaliser les mesures de daP et de dvP sur vingt porcs répartis dans un dispositif de quatre lots de cinq animaux de poids homogènes.

1.3.2. Essai 2. Effet d'une phytase microbienne sur la digestibilité du phosphore

Suite aux résultats de l'essai 1, les deux TC ayant montré les niveaux les plus extrêmes de digestibilité du P (TC3 et TC4), ont été sélectionnés pour mesurer l'effet de cinq niveaux de phytase microbienne (Natuphos®, 3-phytase produite par *Aspergillus niger*, BASF SE) : 0, 250, 500, 750 et 1000 FTU/kg d'aliment. Quarante porcs (deux séries de 20 animaux) ont été répartis dans un dispositif avec cinq traitements appliqués à quatre lots de porcs de poids homogène dans chaque série.

1.3.3. Essai 3. Hypothèse de dégradation de la digestibilité du phosphore au cours du stockage

Cet essai a été réalisé pour valider ou invalider une hypothèse de dégradation de la dvP suite aux résultats des deux premiers essais. Des mesures complémentaires du niveau de P urinaire à trois moments au cours des 19 jours d'essai ont été réalisées. Quatre aliments ont été évalués : les lots TC3 et TC4 utilisés dans les essais 1 et 2, un mélange 50/50 de ces deux lots et un nouveau lot de même provenance que le TC3 (TC3N). Vingt porcs ont été répartis dans un dispositif de quatre lots de cinq animaux de poids homogènes.

1.4. Calculs et analyses statistiques

Dans tous les essais, les analyses de variance et de comparaison de moyennes (test de Tukey) ont été réalisées à l'aide du logiciel Statview version 5.

Pour les essais 1 et 3, un modèle linéaire simple avec effet TC (n=4) est utilisé. Pour l'essai 2, un modèle factoriel est utilisé avec les effets du TC (n = 2), de la dose de phytase (n = 5), de la série (n=2) et leurs interactions. L'effet de la dose de phytase sur la dvP a été modélisé à partir du logiciel R 2.15.0, package NLME (calculs) et GGplot2 (graphique).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1.1. Caractéristiques chimiques des tourteaux de colza

Les TC utilisés dans les différents essais ont une composition chimique variable, présentée dans le Tableau 1. Les teneurs en P total (Pt) varient de 10,3 à 14,3 g/kg de matière sèche (MS) respectivement pour TC1 et TC3N. Les teneurs en Pphy varient de manière assez similaire à celles du Pt, avec des valeurs allant de 5,1 à 8,0 g/kg MS. De ce fait, le rapport Pphy/Pt est relativement stable avec des coefficients de 0,5 à 0,6. Cette proportion de Pphy dans les TC étudiés est plus faible que celle obtenue (0,8) par Skiba *et al.* (2000).

Le Pphy est dans sa grande majorité (plus de 75 %) sous sa forme Inositol hexa-phosphate (IP6), la moins disponible, les autres formes, Inositol penta-phosphate (IP5) et Inositol tétra-phosphate (IP4), étant moins représentées.

Les teneurs en Ca sont dans une plage de 8 à 12 g/kg MS, excepté pour le TC4 qui présente un taux très élevé de Ca (18 g/kg MS).

Les teneurs en Ca et P des tourteaux ont permis de garder un rapport Ca/Pd proche de la recommandation, sauf pour le TC4. Aucune relation n'a pu être établie entre la teneur en Pphy et les autres critères liés au process (solubilité des protéines KOH et glucosinolates)

Tableau 1 – Composition chimique¹ des tourteaux de colza

	TC1	TC2	TC3	TC4	TC3N
Matière azotée totale, g	385	389	384	356	378
Calcium, g	8,4	10,6	11,6	18,0	10,1
Phosphore (P) total, g	10,3	13,5	13,6	12,4	14,3
Phosphore phytique, g	5,1	7,2	7,4	7,5	8,0
IP4	<LD	0,1	0,1	0,2	0,3
IP5	0,6	1,4	1,3	1,4	1,6
IP6	4,5	5,7	6,0	5,9	6,0
P phytique / P total	0,49	0,53	0,55	0,60	0,56
Ca / Pd théorique	2,6	2,5	2,7	4,5	2,2
Solubilité des protéines KOH, g	47,8	38,7	40,0	44,4	40,1
Glucosinolates, mmol	15,4	7,0	9,3	4,6	3,0

¹ En /kg de matière sèche sauf indication contraire ; TC1 à TC4 : Tourteaux de colza métropolitains de différentes usines de trituration ; TC3N : TC3 nouveau lot ; IP : Inositol phosphate ; Pd : P digestible ; <LD : Inférieur à la limite de détection.

2.1.2. Essai 1. Variabilité de la digestibilité du phosphore

Avec des niveaux de consommation similaires d'aliment (2142 g/jour en moyenne), les quantités de P ingéré reflètent les teneurs variables présentent dans les différents TC (Tableau 2).

Dans les conditions de ces essais, les pertes de P d'origine endogène, ont été négligeables (0,028 g/kg MS ingérée). Ainsi, les valeurs de daP et dvP sont très proches.

De même, des quantités nulles ou négligeables de P sont retrouvées dans les urines. Il en résulte des valeurs de crP voisines de celles des dvP pour tous les TC.

Les daP et dvP de TC4 sont significativement plus faibles que celles des trois autres TC ($P < 0,001$). En effet, la daP de ce lot est comparable à celle rapportée par Skiba *et al.* (2000) et ou celle disponible dans les tables INRA-AFZ (2004 ; 32%) tandis que celles des trois autres lots sont supérieures de 12 points.

L'excès de Ca du TC4 pourrait expliquer en partie la plus faible digestibilité du phosphore, par la formation de complexes insolubles dans l'intestin (Létourneau-Montminy *et al.*, 2010).

La prise en compte d'une valeur de dvP de 44% au lieu de la valeur de référence (32%) dans la formulation d'un aliment porc croissance contenant 20 % de TC, permet de réduire de moitié l'ajout de phosphates.

Tableau 2 – Digestibilité du phosphore des tourteaux de colza étudiés dans l'essai 1

	TC1	TC2	TC3	TC4	ETR	P-value
P ingéré, g/j	5,38	7,20	6,78	5,86	0,28	< 0,0001
P excrété, g/j	2,99	3,97	3,74	3,96	0,34	0,0008
<i>Voie fécale</i>	2,99	3,92	3,74	3,96	0,34	0,0014
<i>Voie urinaire</i>	0,00	0,06	0,00	0,00	0,03	-
P retenu, g/j	2,38	3,25	3,04	1,88	0,31	< 0,0001
daP, %	44,4	45,7	44,9	32,2	4,45	0,0005
dvP, %	45,4	46,4	45,6	33,1	4,45	0,0007
crP, %	44,4	44,9	44,9	32,2	4,48	0,0007

P : Phosphore ; daP : digestibilité apparente du P ;

dvP : digestibilité vraie du P ; crP : coefficient de rétention du P ;

ETR : écart type résiduel ; la P-value indiquée correspond à l'effet du TC étudié obtenu par analyse de variance à partir d'un modèle linéaire simple avec le TC comme effet fixe.

2.1.3. Essai 2. Effet d'une phytase microbienne sur la digestibilité du phosphore

L'analyse factorielle montre un effet hautement significatif ($P < 0,0001$) de l'ajout de phytase sur la dvP, sans effet de la série ($P = 0,7$), du TC ($P = 0,7$) ou des interactions ($P > 0,5$).

Pour évaluer l'effet de la dose de phytase, le modèle de régression le mieux adapté à nos résultats est de type linéaire-plateau (Figure 1). La dvP augmente de manière linéaire avec l'incorporation de la phytase jusqu'à un palier, avec un apport en phytase de 500 UFT/kg.

Sans différence significative entre les deux TC, en moyenne, la dvP de 26 % sans phytase, augmente significativement à 46 % et 59 % avec l'incorporation de 250 et 500 UFT/kg ; puis elle se stabilise avec des valeurs moyennes de 64 % avec 750 et 1000 UFT/kg.

Ainsi, l'enzyme libère 0,24 et 0,29 g P/100 FTU aux doses de 250 et 500 UFT/kg, soit une quantité plus élevée que celle rapportée par le fournisseur (0,16 g/100 FTU) pour un aliment complet (ce qui n'est pas le cas de notre essai, réalisé sur des aliments semi-purifiés). Il est possible qu'une partie du Pphy soit solubilisée plus rapidement par l'effet de l'humidification de l'aliment à l'auge. En effet, Gaudré *et al.* (2016) ont montré (dans le cadre du même projet) que le trempage du TC avec la même phytase permet une libération du P dès la première demi-heure en milieu liquide.

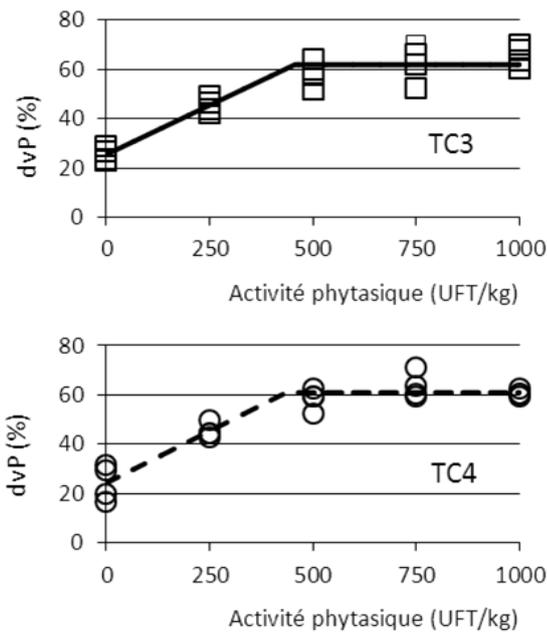


Figure 1 – Modèle de régression (linéaire-plateau) entre l’activité phytasique théorique et la digestibilité vraie de P de TC3 et TC4 (un point = une valeur individuelle)

De manière analogue aux dvP, les crP augmentent avec les teneurs en phytase mais dans une moindre proportion. En effet, si très peu de P est retrouvé dans les urines des animaux des régimes sans phytase (0,05 g/j), les pertes augmentent au fur et à mesure que l’enzyme agit sur le P, pour atteindre 1,42 g/j à 1000 FTU. Une explication possible est que le P rendu digestible par l’action de l’enzyme n’aurait pas été fixé par l’animal à cause d’un rapport Ca/Pd réel trop faible. Le niveau de Ca n’étant pas suffisant pour fixer tout le P, l’excès est excrété dans les urines (Létourneau-Montminy *et al.*, 2012). Il est intéressant d’observer que l’action de la phytase sur la digestibilité du P était pratiquement similaire sur les deux TC, alors que leur rapport Ca/Pd était très différent. Ce résultat est contraire à l’hypothèse des effets négatifs des teneurs élevées en Ca sur l’efficacité des phytases (Brady *et al.*, 2002; Selle *et al.*, 2009), récemment mise en cause par Létourneau-Montminy *et al.* (2010).

Nous espérons avoir des éléments pour comparer l’effet de la phytase sur deux lots ayant une dvP différente, raison pour laquelle les mesures ont été faites sur les deux lots les plus extrêmes de l’essai 1. Néanmoins, alors que les dvP étaient de 45,6 et 33,1 % pour TC3 et TC4 dans l’essai 1, les mêmes tourteaux (sans phytase) utilisés 6 mois plus tard ont une dvP de seulement 26,3 et 25,1 %. L’écart entre les deux lots n’existe plus et les digestibilités ont significativement diminué. Pourtant, les aliments avaient la même composition analytique, les animaux provenaient du même élevage et leur niveau d’ingestion était comparable.

Nous avons pu constater une différence de digestibilité de la matière sèche (dMS, 91,4% vs. 92,5%) entre les deux TC des essais 1 et 2 respectivement, ainsi qu’une relation forte entre la dMS et la dvP ($R^2 = 0,84$ pour les TC sans phytase). Néanmoins, cette relation ne met pas en cause les résultats obtenus sur l’effet de la phytase. La Figure 2 montre bien que la libération du P par l’enzyme est indépendante de la dMS (pentes similaires).

L’expertise des données, notamment les teneurs en P des fèces et des urines, ne nous a pas permis d’apporter une explication autre que l’effet du temps de la conservation des lots évalués.

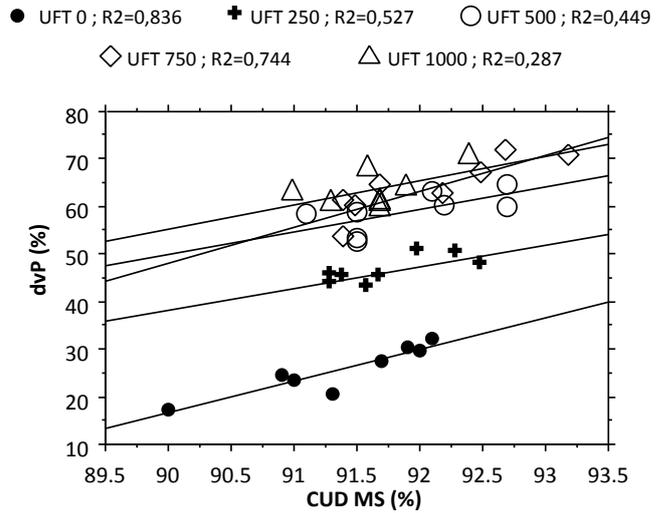


Figure 2 – Relation entre la digestibilité vraie du phosphore (dvP) et la digestibilité de la matière sèche (dMS) selon la dose de phytase incorporée (Essai 2)

2.1.4. Essai 3. Hypothèse de dégradation de la digestibilité du phosphore au cours du stockage

La comparaison entre les quatre TC montre une dvP significativement différente ($P = 0,007$), avec une meilleure digestibilité du TC3N (lot de même origine que le TC3 mais de trituration plus récente) par rapport au TC3, mais aussi au mélange TC3-TC4. Le TC4, a quant à lui une dvP intermédiaire (Tableau 3).

Le TC3N a une dvP supérieure à TC3 (30,7 vs. 15,3 %) mais cette valeur n’est pas aussi élevée que celle du TC3 lors du premier essai (45,6 %). Le mélange TC3-TC4 montre une dvP de 17,9 %, soit une valeur proche de la moyenne des valeurs obtenues avec TC3 et TC4 mesurées individuellement, ce qui confirme l’additivité des mesures de dvP rapportée par Vilariño *et al.* (2015).

Tableau 3 – Digestibilité du phosphore des tourteaux de colza étudiés dans l’essai 3

	TC3	TC4	TC3-TC4	TC3 N	ETR	P-value
P ingéré, g/j	6,56	6,43	6,80	6,60	0,45	0,7068
P excrété, g/j	5,78	4,95	5,80	5,06	0,62	0,1298
<i>Voie fécale</i>	5,63	4,85	5,60	4,62	0,56	0,0421
<i>Voie urinaire</i>	0,13	0,10	0,19	0,42	0,16	0,0386
P retenu, g/j	0,83	1,45	0,98	1,56	0,36	0,0245
daP, %	14,5	24,4	17,1	30,0	5,94	0,0074
dvP, %	15,3	25,2	17,9	30,7	5,92	0,0073
crP, %	12,5	23,0	14,4	23,7	6,06	0,0348

P : Phosphore ; *dvP* : digestibilité vraie du P ; *crP* : coefficient de rétention du P ; *ETR* : écart type résiduel ; la P-value indiquée correspond à l’effet du TC étudié obtenu par analyse de variance à partir d’un modèle linéaire simple avec le TC comme effet fixe.

Ainsi la dvP de TC3 est de 15,3 % dans cet essai, alors qu’elle était encore de 26,4 % six mois plus tôt (essai 2) et de 45,6 % l’année précédente (essai 1).

Par contre, la dvP du TC4, est restée stable (25,2 %) par rapport à la dernière mesure, alors qu’elle était de 33,1 % lors du premier essai (Figure 3).

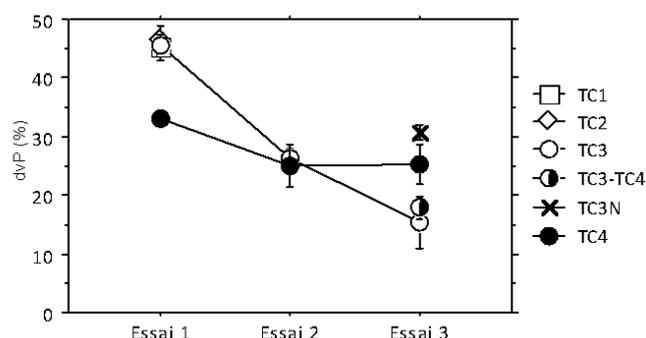


Figure 3 – Evolution de la digestibilité vraie du phosphore (dvP) des TC (sans phytase) mesurée à environ 0 (essai 1), 6 (essai 2) et 12 (essai 3) mois d'intervalle.

L'excrétion de P dans les urines n'étant pas nulle dans cet essai, des valeurs du crP plus faibles que celles de la dvP sont observées, en particulier pour le TC3N.

Au cours de ces essais, la question du métabolisme d'excrétion du P dans les urines sur la période relativement longue de consommation des aliments pauvres en P s'est posée. La mesure du P dans les urines à trois temps différents au cours de l'essai 3, montre une faible excrétion quelle que soit la période, sauf pour le TC3N qui génère des niveaux d'excrétion significativement plus élevés. L'écart ($P = 0,056$) faible à J4 entre le TC3N (0,16 g P/jour) et les trois autres (0,06 g P/jour) est beaucoup plus important à J10 (0,10 vs. 0,56 g P/j ; $P < 0,0001$). Pendant le bilan (J15-J20) l'écart est toujours significatif (0,13 vs. 0,42 ; $P = 0,0130$) mais les valeurs de TC3N sont beaucoup plus variables (0,1 à 0,83 g P/j).

Ainsi, dans les conditions de notre essai, avec des régimes formulés pour des apports en P en-dessous des besoins, le

métabolisme d'absorption/excrétion du P ne semble pas être modifié de manière importante pendant les 19 jours de consommation des aliments, dans les conditions de nos essais. Par contre, l'évolution de l'excrétion urinaire de P de TC3N montre qu'il faut une période minimale d'ajustement au régime.

CONCLUSION

Sur les quatre lots de tourteau de colza évalués, trois donnent des valeurs de digestibilité similaires et plus élevées que celles rapportées dans la littérature, ce qui peut permettre d'ajuster cette valeur à la hausse. Néanmoins, la dégradation de ces valeurs dans le temps pose question et pourrait accentuer la variabilité entre lots de tourteaux au moment de leur utilisation. Il faut néanmoins nuancer ce risque du fait d'un temps de stockage plutôt court chez les fabricants d'aliments. Dans les conditions de notre essai, l'efficacité de la phytase microbienne sur ce substrat est confirmée avec un plateau atteint avec 500 UFT ajoutées, dans les conditions de nos essais. L'hypothèse de dégradation de la digestibilité du phosphore avec la durée de stockage mérite un approfondissement.

REMERCIEMENTS

Les résultats présentés ont été obtenus dans le cadre du projet « PHOSPORC », financé en partie par les Régions Bretagne et Pays de la Loire et porté par le Pôle Agronomique Ouest. Les auteurs tiennent à remercier le Pôle Agronomique Ouest, et particulièrement Stephan Rouverand pour sa participation active à la réalisation de ce programme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Almeida F.N., Stein H.H., 2010. Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus. *J. Anim. Sci.*, 88, 2968-2977.
- Brady S.M., Callan J.J., Cowan D., McGrane M., Doherty J.V., 2002. Effect of phytase inclusion and calcium/phosphorus ratio on the performance and nutrient retention of grower finisher pigs fed barley/wheat/soybean meal-based diets. *J. Sci. Food Agric.*, 82, 1780-1790.
- Gaudré D., Vilariño M., Peyronnet C., Callu P., Quinsac A., Magnin M., Planchenault D., Gerfault V., Charlemagne E., 2016. Réduction de la teneur en phosphore phytique du tourteau de colza par trempage en présence de phytase microbienne. *Journées Rech. Porcine*, 48, 155-156.
- INRA – AFZ, 2004. Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2^{ème} édition. Sauvant, D., Perez, J. M., Tran, G., INRA Editions Versailles, 306 p.
- Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. *INRA Prod. Anim.*, 18 (3), 183-192
- Jongbloed A.W., 1987. Phosphorus in the feeding of pigs. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, pp 343.
- Létourneau-Montminy M.P., Narcy A., Magnin M., Sauvant D., Bernier J.F., Pomar C., Jondreville C., 2010. Effect of reduced dietary calcium concentration and phytase supplementation on calcium and phosphorus utilization in weaned piglets with modified mineral status. *J. Anim. Sci.*, 88, 1706–1717.
- Létourneau-Montminy M.P., Jondreville C., Sauvant D., Narcy A., 2012. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. *Anim.*, 6 (10), 1590–1600.
- Selle P.H., Cowieson A.J., Ravindran V., 2009. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest. Sci.*, 124, 126-141.
- Skiba F., Hazouard I., Bertin J.M., Chauvel J., 2000. Digestibilité du phosphore de 14 matières premières et influence de la phytase végétale dans l'alimentation du porc charcutier. *Journées Rech. Porcine*, 32, 169-175.
- Vilariño M., Callu P., Quinsac A., Peyronnet C., Gaudré D., 2015. Digestibilité vraie du phosphore de deux coproduits de bioéthanol issus de blé et d'un tourteau de colza : additivité chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 47, 139-140.

