

DETERMINATION DE LA TENEUR EN PHOSPHORE TOTAL ET PHYTIQUE DANS LES MATIERES PREMIERES D'ORIGINE VEGETALE UTILISEES CHEZ LES MONOGASTRIQUES PAR SPECTROMETRIE PROCHE INFRA ROUGE

**Aureli Raffaella, Ueberschlag Quentin, Klein Fanny, Noël Charline
et Guggenbuhl Patrick**

*DSM Nutritional Products France, Centre de Recherche en Nutrition Animale, BP 170,
68305 Saint-Louis Cedex, France*

raffaella.aureli@dsm.com

RÉSUMÉ

Cette étude propose à partir d'une base de données constituée de 500 échantillons de céréales et de tourteaux d'oléagineux, de déterminer leur teneur en phosphore (P) total et en P-phytique et d'utiliser ces valeurs pour développer des équations de prédiction en spectrométrie proche infrarouge (SPIR). Pour cela, les spectres de réflexion de chaque échantillon ont été acquis entre 1100 et 2500 nm par pas de 0,5 nm en utilisant un analyseur FOSS DS2500. La performance des équations a été rapportée par le coefficient de détermination (R^2) et l'erreur standard de calibration (SEC) et de prédiction (SEP).

Dans les céréales la teneur en P total s'étendait entre 0,7 g/kg (avoine) et 20,1 g/kg (riz). Dans les graines de légumineuses, elle était de 3,7 g/kg pour le pois, et 5,6 g/kg pour les graines de soja. Une teneur de 9,8 g/kg et 8,3 g/kg a été déterminée respectivement pour les tourteaux de colza et de tournesol. Les sous-produits de céréales ont une concentration plus élevée en P-phytique (2,3 g/kg: drêche de blé ; 6,8 g/kg: son de blé) que les grains entiers (1,7 g/kg: seigle ; 2,9 g/kg: blé). Deux tiers du P étaient présent sous forme de P-phytique dans les céréales alors que seulement la moitié dans les graines de soja.

Le P total a été prédit par SPIR avec un R^2 de 0,92 et une SEP de 0,80 g/kg alors qu'un R^2 de 0,94 et une SEP de 0,66 g/kg a été établi pour le P-phytique. Ces résultats ont montré qu'il y a une variabilité importante des niveaux de P et de P-phytique entre les ingrédients et qu'il était possible d'utiliser la SPIR comme un outil simple et rapide pour formuler plus précisément des aliments répondant aux besoins nutritionnelles des animaux.

ABSTRACT

Determination of total phosphorus and phytate-P in monogastrics feed ingredients by near infrared spectroscopy

The use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the total phosphorus (P) and phytate-P content of common poultry feed ingredients was investigated in this study. A total of 500 samples of cereals and oilseed meals were collected and assayed by standard wet chemical references for total P and phytate P contents. Near infrared reflection spectra were acquired between 1100 and 2500 nm in increments of 0.5 nm using a DS2500 analyzer. Equation performance was reported as the coefficient of determination (R^2), the standard error of calibration (SEC) and the standard error of prediction (SEP).

In cereals the content of total P was ranging between 0.7 g/kg (oat) and 20.1g/kg (rice). The total P content of legume seeds was on average amounts 3.7 g/kg for peas, 5.6 g/kg for soya beans. All the meals from the vegetable oil extraction industry were relatively rich in phosphorus, particularly rapeseed meal (9.8 g/kg) and sunflower seed meal (8.3 g/kg). Cereals by-products showed higher concentration of phytate-P (2.3 g/kg :wheat distiller; 6.8 g/kg :wheat bran) compared with the intact grain (1.7 g/kg: rye; 2.9 g/kg: wheat). Two-third of phosphorus in cereals is present as phytate-P whereas half of the P is present in phytate form in legume seeds (soybean).

Total P was predicted by NIRS with R^2 and SEP equal to 0.92 and 0.80 g/kg, respectively, whereas an R^2 of 0.94 with an SEP of 0.66 g/kg was found for phytate-P. These results clearly demonstrated that there is substantial variability in phytate-P levels as well as in total P within and between ingredients and that NIRS method, is one tool that nutritionists may use to help control the nutritional composition of their feed.

INTRODUCTION

Chez les monogastriques, les rations alimentaires sont constituées en grande partie de céréales, de sous-produit de céréales et d'oléagineux. Leur teneur en phosphore (P) total et en acide phytique sont variables au sein des mêmes ingrédients, et entre les différents ingrédients (Tran et Skiba, 2005). La variation de la composition des ingrédients d'origine végétale pourrait donc avoir un effet notable sur les performances des animaux en particulier si le régime est formulé sur des valeurs moyennes. L'analyse nutritionnelle des matières premières entrant dans les rations alimentaires est l'une des considérations les plus importantes dans l'alimentation animale et l'intérêt d'obtenir des valeurs nutritionnelles précises est devenu capital. Aussi, les nutritionnistes ont besoin de pouvoir déterminer la valeur nutritive des aliments de façon précise et rapide. Les analyses biochimiques traditionnelles sont longues et coûteuses. Inversement la spectroscopie de réflectance en proche infrarouge (SPIR), est une méthode non destructive nécessitant une préparation minimale de l'échantillon. Elle est largement utilisée pour prédire avec précision la quantité totale d'azote (N) (Kays *et al.*, 2000), les acides aminés et la teneur en fibres des ingrédients. Aussi, bien que les composés inorganiques ne soient pas détectés dans la région du proche infrarouge, il semble que la prédiction des matières minérales par SPIR est possible pour certains minéraux quand ils sont associés à des composants organiques (Clark *et al.*, 1987; Shenk *et al.*, 1992; De Boever *et al.*, 1994).

L'objectif de cette étude était de développer une seule calibration en SPIR pour prédire la teneur en P total, et en P-phytique d'ingrédients d'origine végétale hétérogènes utilisés dans les rations alimentaires chez les monogastriques.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Ingrédients

Un total de 500 échantillons, comprenant des céréales, des sous-produits céréaliers et des tourteaux d'oléagineux ont été collectés dans le monde entier pendant un an. Les ingrédients étaient répartis en 136 blé, 90 maïs, 100 soja, 43 colza, 22 tournesol, 36 d'orge, 13 sorgho, 15 riz et 45 autres ingrédients dont 4 tourteaux de lin, 5 tourteaux de coton, 4 seigle, 5 pois, 2 avoine et 3 triticale. Les échantillons ont été stockés à 4 ° C jusqu'à leur analyse. Les échantillons ont été broyés à travers un tamis de 0,8 mm avec un broyeur à marteau (broyeur de laboratoire Perten 3100) et conservés dans des sacs en plastique en vue de leur analyse en P total et en P-phytique.

1.2 Analyses biochimiques

La concentration en P inorganique a été déterminée par spectrométrie d'émission plasma (DIN EN ISO 1998) après une double digestion acide (HNO₃ (65%) et NH₄F (10%)). La détermination du P-phytique a été

réalisée selon la méthode de Skoglund *et al.*, (1997), avec quelques modifications par chromatographie liquide haute performance. Les phosphates d'inositol ont été détectés, après une réaction post-colonne en présence de Fe (NO₃)₃, H₂O dans une solution à 2% de HClO₄ (70-72%), en utilisant une détection UV à 290 nm.

1.3 Analyse en spectrométrie proche infra rouge

Chaque échantillon a été scanné dans une coupelle ronde de 3,5 cm de diamètre à l'aide d'un monochromateur Foss DS2500 (Foss NIRSYSTEM, Laurel, MD, USA). Les valeurs d'absorbance ont été enregistrées entre 1100-2500 nm avec un pas de 0,5 nm. Les spectres de chaque échantillon ont ensuite été associés aux valeurs obtenues par les méthodes de laboratoire de référence afin de développer les équations de calibration pour la prédiction de la teneur en P total, et en P-phytique (WinISI version 4.4). Deux tiers des échantillons choisis au hasard ont servi au développement des équations de calibration et un tiers ont servi à la validation du modèle. La méthode des moindres carrés partiels (mPLS) a été utilisée comme méthode chimiométrique pour établir la relation entre les variables à prédire et les données spectrales. Au cours du développement des équations de calibration, un prétraitement mathématique des spectres (dérivée d'ordre 1, SNV et correction de la ligne de base) a été appliqué aux spectres afin de supprimer la partie de l'information qui n'est pas liée à la composition chimique de l'échantillon. La performance des équations a été décrite par le coefficient de détermination R², l'erreur-type de calibration (SEC), de validation croisée (SECV) et de prédiction (SEP). Les échantillons dont les spectres étaient éloignés de la base de calibration (GH>4,5) ont été écartés.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans les céréales la teneur en P total était comprise entre 0,7 g/kg (avoine) et 3,9 g/kg (blé) alors que les sous-produits céréaliers en contenaient plus. En effet, une teneur en P total de 6,5 et 8,7 g/kg a été obtenue respectivement dans le remoulage et le son de blé. Cet enrichissement s'explique par la présence prédominante de P dans la couche à aleurone du grain (Reddy *et al.*, 1989) et par les différents traitements appliqués pour obtenir les issues de blé. Le son de riz contenait plus de P total que le riz (respectivement 17,1 g/kg et 20,1 g/kg).

Dans les graines de légumineuses, la teneur en P total était d'une manière générale plus élevée que dans les céréales. Une teneur moyenne de 3,7 et 5,6 g/kg a été déterminée respectivement pour le pois et les graines de soja. Tous les produits issus de l'extraction d'huile végétale ont été relativement riches en P, avec en particulier le tourteau de colza (9,8 g/kg), le tourteau de coton (9,6 g/kg) et le tourteau de tournesol (8,3 g/kg). Les sous-produits de céréales, notamment les sons et remoulages de blé ont montré une concentration en P-

phytique plus élevée (respectivement 6,8 g/kg et 5,6 g/kg) par rapport aux grains entiers (2,9 g/kg: blé). Les graines de soja et de colza ont révélé une concentration en P-phytique plus élevée que le pois. En ce qui concerne les tourteaux d'oléagineux, la concentration en P-phytique a varié de 3,3 g/kg dans le tourteau de soja à 7,1 g/kg dans le tourteau de tournesol et de coton. Deux tiers du P étaient présents sous forme de P-phytique dans les céréales (De Boever *et al.*, 1994) alors que seulement la moitié du P était présent sous forme de P-phytique dans les graines de soja. Ces résultats sont cependant en désaccord avec ceux de Steiner *et al.*, (2007), qui ont rapporté que près des deux tiers du P total dans les graines de légumineuses étaient sous forme de P-phytique. En général, les valeurs de P total et de P-phytique déterminées dans cette étude étaient comparable à celles données dans la littérature précédemment citées (De Boever *et al.*, 1994 ; Eeckhout et De Paepe, 1994, Steiner *et al.*, 2007). L'origine des divergences observées sur la teneur en P-phytique en tant que pourcentage du P total n'est pas claire, mais pourraient s'expliquer par des facteurs tels que les cultivars, l'année de récolte, les conditions climatiques, les conditions de traitement, le nombre d'observations par ingrédients, ainsi que les méthodes d'analyse utilisées (précipitation du P-phytique vs chromatographie échangeuse d'anions).

L'analyse en composantes principales (Figure 1) effectuée sur les spectres a permis de visualiser la population spectrale disponible. Comme attendu, du fait de l'hétérogénéité des échantillons utilisés, la base de calibration comportait différentes populations et certaines zones de l'espace n'étaient bien pas représentées. D'autre part le nombre d'échantillons éliminés lors du développement des modèles de calibration a été élevé, ce qui est discutable (Dardenne 2010). Il a ainsi été choisi d'écarter des échantillons de la base de calibration en faisant varier les distances de Mahalanobis (globale GH et de proximité NH) afin de prédire au mieux la majeure partie des échantillons. Il en résulte que les performances de calibration obtenues pour la teneur en P ont été assez bonnes, bien que les composés inorganiques ne soient pas détectés dans la région du proche infrarouge mais que seuls des complexes organiques peuvent être détectés. Les concentrations en P total et en P-phytique ont été prédites avec respectivement un R^2 de 0,92 et 0,94 et une SEP de 0,80 g/kg et 0,66 g/kg (Tableau 2). De Boever *et al.*, (1994) ont montré que le P des ingrédients pouvait être prédit par SPIR avec un R^2 de 0,94 à 0,96 et une SEP de 0,80 g/kg ($n = 88$ à 150). Tahir *et al.*, (2012), ont fait état d'un R^2 entre 0,03 et 0,64 et une SEP de 0,027 à 0,142 g/kg pour le maïs et le remoulage de blé.

La détection du noyau du phytate est liée plus directement à sa structure moléculaire, tandis que la détection du P est plus liée à sa capacité à se lier à des molécules organiques qui reflètent dans la région du proche infrarouge. De Boever *et al.*, (1994), ont

rapporté pour la prédiction du P-phytique, un R^2 de 0,95 et une SEP de 0,80 g/kg pour les ingrédients riches en amidon et un R^2 de 0,78 et une de SEP 0,40 g/kg pour les ingrédients riches en protéines.

L'analyse des valeurs statistiques obtenues lors de la calibration et de la validation des équations de prédiction a permis de caractériser la qualité des équations pour l'ensemble des ingrédients. Le rapport SECV / SEC des deux constituants tendait vers 1 caractérisant une bonne robustesse de l'équation de calibration. Par ailleurs, les rapports SD/SEC de 4,0 et de 4,2 obtenus respectivement pour le P total et le P-phytique ont montré que les deux constituants ont été assez bien prédits conformément à Williams et Sobering (1996) puisque le rapport était compris entre 3,1 et 4,9.

Cette étude a permis de recueillir des informations en termes de teneur en P total et P-phytique sur un grand nombre d'échantillons de matières premières et de montrer qu'il était possible de développer une équation de calibration en SPIR pour la prédiction des niveaux de P total et de P-phytique dans les ingrédients. Les sources de variation des niveaux de P-phytique et de P total à l'intérieur et entre les ingrédients (Santos et Bedford, 2012) nécessite de pouvoir les quantifier rapidement afin d'optimiser la formulation et aussi de maximiser l'addition de phytase généralement utilisé pour libérer le P des plantes. Cependant, l'efficacité de la phytase pour améliorer la biodisponibilité du P dans l'alimentation animale est dépendante de la solubilité du phytate, qui varie selon les ingrédients végétaux (Taylor, 1965). Néanmoins, plusieurs études ont montré une amélioration significative de la déphosphorylation du P-phytique dans plusieurs céréales et graines de légumineuses comme le blé, le maïs, le tourteau de colza et de soja, avec l'ajout de phytase (Aureli *et al.*, 2014; Leske et Coon, 1999; Rutherford *et al.*, 2002).

CONCLUSION

Cette étude montre qu'il est possible de prédire la teneur en P-phytique et en P total dans les ingrédients d'origine végétale par la technique de SPIR. Cette technique est un outil envisageable pour contrôler plus précisément la composition nutritionnelle des aliments formulés en termes de niveau de P total et de P-phytique, pour réduire les coûts d'alimentation et de pollution de l'environnement, tout en favorisant une performance optimale de l'animal. Cependant, la SPIR reste une méthode indirecte et sa précision dépend de l'exactitude de la méthode de référence utilisée au laboratoire et de la procédure de préparation des échantillons. Les précisions obtenues dans cette étude résultent de la qualité de la base de données utilisées. Le modèle établi et présenté peut encore gagner en précision et en robustesse en intégrant régulièrement de la variabilité et en choisissant les échantillons de manière à compléter au mieux cette base de données.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aureli, R., Umar Faruk, M., Broz, J., 2014. XVIth EPC, Stavanger, proceeding pp. 542.
2. Clark, D.H., Mayland, H.F., Lamb, R.C., 1987. Agron. J. (79), 485-490.
3. Dardenne P., 2010. NIR news 21(1), doi :10.1255/nim.1165
4. De Boever, J.L., Eeckhout, W., Boucqué, Ch.V. 1994. Neth. J. Agr. Sci. (42), 357-369.
5. Eeckhout, W., De Paepe, M., 1994. Anim. Feed Sci. Technol. (47), 19-29.
6. Kays, S. E., Barton, F. E., Windman, W.R. 2000. J. Near Infrared Spectrosc. (8), 35-43
7. Leske, K.L. and Coon C.N., 1999. Poult. Sci. (78), 1151-1157.
8. Rutherford, S.M., Chung, T.K. and Moughan P.J., 2002. Br. Poult. Sci. (44), 598-606.
9. Tahir, M., 2012. Poult. Sci. 91 (10), 2540-2547.
10. Santos, T.T., Bedford, M.R., 2012. 2nd International Phytase Summit, Rome
11. Shenk, J.S., Workman, J.J., Westerhaus, M.O., 1992. Page 383-431 in: Handbook of Near-Infrared Analysis
12. Steiner, T., Mosenthin, R., Zimmermann, B., Greiner R., Roth, S., 2007. Anim. Feed Sci. Technol. 133, 320-334.
13. Taylor TG., 1965. Proc. Nutr. Soc (24), 105-112
14. Tran, G., Skiba, F., 2005. INRA Prod. Anim., 18 (3), 159-168.
15. Williams, P.C., Sobering, D.C., 1996. In: Near infrared spectroscopy: the future waves Eds. Davies, A. M. C. & Williams, P. NIR Publications, Chichester. pp. 185-188.

Tableau 1: Teneur en P total P et en P-phytique dans les céréales, les sous-produits de céréales et les tourteaux d'oléagineux

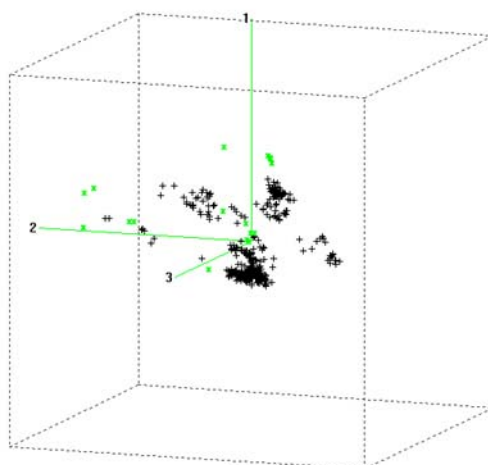
Ingrédients	P total (g/kg)			P-phytique (g/kg)			(P-phytique/P Total) x 100		
	n	moyenne	±SD	n	moyenne	±SD	n	moyenne	±SD
<i>Céréales</i>									
Maïs	72	2,6	1,4	22	1,7	0,1	22	83,8	3,3
Blé	78	3,9	2,4	58	2,9	2,0	58	75,6	10,2
Orge	36	2,9	0,8	32	1,6	0,3	32	56,4	9,7
Sorgho	13	2,1	0,3	11	1,6	0,3	11	76,1	11,1
Avoine	2	0,7	0,8						
Seigle	4	2,5	0,4	3	1,7	0,1	3	64,3	4,7
Triticale	3	2,6	0,8	2	1,9	0,1	2	62,4	9,5
Riz	3	20,1	0,3	3	14,1	0,0	3	70,0	1,2
Autre ¹	22	6,7	1,8	14	1,6	1,7	14	23,0	25,3
<i>Sous-produits</i>									
Remoulage de blé	11	6,5	1,3	4	5,6	0,7	4	86,3	2,5
Son de blé	18	8,7	1,2	7	6,8	1,0	7	84,2	10,5
DDGS de blé	7	5,9	2,88	4	2,3	1,2	4	37,6	23,2
Son de riz	11	17,1	5,8	10	12,5	1,5	10	72,7	14,4
<i>Légumineuses</i>									
Pois	5	3,7	0,9	5	1,2	0,3	5	33,3	9,0
Graine de soja	22	5,6	0,6	2	2,9	0,2	2	47,4	4,4
<i>Graine d'oléagineux</i>									
Graine de lin	2	4,8	0,3	2	3,5	0,1	2	74,4	6,2
Graine de colza	5	8,1	2,3	3	6,7	0,5	3	69,2	1,9
<i>Tourteau d'oléagineux</i>									
Tourteau de soja	72	5,9	0,8	23	3,3	0,2	23	59,1	6,8
Tourteau de tournesol	22	8,3	1,0	20	7,0	1,1	20	82,5	9,0
Tourteau de colza	38	9,8	0,9	35	6,7	0,6	35	69,0	5,1
Tourteau de lin	2	8,5	1,7	2	4,6	0,0	2	55,4	10,5
Tourteau de coton	4	9,6	0,4	4	7,1	0,7	4	73,3	4,4

¹: drêches de distillerie solubles d'autres ingrédients

Table 2: Description statistique des résultats obtenus en spectrométrie proche infrarouge pour chaque constituant

	Description des échantillons					Performance SPIR					
	n	moyenne	min	max	SD	SEC	R ² cv	SECV	SEP	Pente	R ²
P total (g/kg)	372	5,1	0,3	25,5	2,7	0,67	0,91	0,82	0,80	1,021	0,92
P-phytique (g/kg)	201	3,9	0,2	14,1	2,9	0,69	0,92	0,85	0,66	1,054	0,94

SD : écart-type de la population ; SEC: erreur standard de calibration; R²cv: coefficient de détermination de cross-validation; SECV: erreur standard de cross validation; SEP: erreur standard de prédiction; Pente de la régression linéaire; R²: coefficient de détermination

Figure 1 : Visualisation de la répartition des échantillons dans la base de calibration

DETERMINATION DE LA TENEUR EN PHOSPHORE TOTAL ET PHYTIQUE DANS LES MATIERES PREMIERES D'ORIGINE VEGETALE UTILISEES CHEZ LES MONOGASTRIQUES PAR SPECTROMETRIE PROCHE INFRA ROUGE

Aureli Raffaella, Ueberschlag Quentin, Klein Fanny, Noël Charline et Guggenbuhl Patrick
DSM Nutritional Products France, Centre de Recherche en Nutrition Animale, BP 170, 68305 Saint-Louis Cedex, France

Onzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras,
Tours, 25 et 26 mars 2015

OBJECTIF

Le but de ce projet a été de développer une équation de calibration en SPIR afin de prédire la teneur en P total, et en P-phytique d'une population de matières premières d'origine végétale entrant dans la composition des rations alimentaires destinées aux animaux monogastriques.

MATERIELS & METHODES

452 échantillons, comprenant des céréales, des sous-produits céréaliers et des tourteaux d'oléagineux collectés dans le monde entier sur une année.

Echantillons broyés à travers un tamis de 0,8 mm et stockés à 4° C.

Méthodes de références

P total (Pt): Spectrométrie d'émission plasma après une double digestion acide (HNO₃ (65%) et NH₄F (10%)),

P-Phytique : HPLC après une réaction post-colonne en utilisant une détection UV à 290 nm.

Analyse en proche infrarouge

Monochromateur Foss DS2500; coupelle ronde de 3,5 cm de diamètre ; Absorbance enregistrée entre 1100-2500 nm avec un pas de 0,5 nm; Méthode des moindres carrés partiels (MPLS); Performance des équations: R², SEC, SECV, SEP.

RESULTATS

Tableau 1: Teneur en P total et en P-phytique dans les céréales, les sous-produits de céréales et les tourteaux d'oléagineux

Ingrédients	Pt (g/kg)			P-Phytique (g/kg)			(P-Phytique/Pt) x 100		
	n	moyenne	±SD	n	moyenne	±SD	n	moyenne	±SD
Céréales									
Maïs	72	2,6	1,4	22	1,7	0,1	22	83,8	3,3
Blé	78	3,9	2,4	58	2,9	2,0	58	75,6	10,2
Orge	36	2,9	0,8	32	1,6	0,3	32	56,4	9,7
Sorgho	13	2,1	0,3	11	1,6	0,3	11	76,1	11,1
Avoine	2	0,7	0,8						
Seigle	4	2,5	0,4	3	1,7	0,1	3	64,3	4,7
Triticale	3	2,6	0,8	2	1,9	0,1	2	62,4	9,5
Riz	3	20,1	0,3	3	14,1	0,0	3	70,0	1,2
Autre ¹	22	6,7	1,8	14	1,6	1,7	14	23,0	25,3
Sous-produits									
Remoulage de blé	11	6,5	1,3	4	5,6	0,7	4	86,3	2,5
Son de blé	18	8,7	1,2	7	6,8	1,0	7	84,2	10,5
DDGS de blé	7	5,9	2,88	4	2,3	1,2	4	37,6	23,2
Son de riz	11	17,1	5,8	10	12,5	1,5	10	72,7	14,4
Légumineuses									
Pois	5	3,7	0,9	5	1,2	0,3	5	33,3	9,0
Graine de soja	22	5,6	0,6	2	2,9	0,2	2	47,4	4,4
Graine d'oléagineux									
Graine de lin	2	4,8	0,3	2	3,5	0,1	2	74,4	6,2
Graine de colza	5	8,1	2,3	3	6,7	0,5	3	69,2	1,9
Tourteau d'oléagineux									
Tourteau de soja	72	5,9	0,8	23	3,3	0,2	23	59,1	6,8
Tourteau de tournesol	22	8,3	1,0	20	7,0	1,1	20	82,5	9,0
Tourteau de colza	38	9,8	0,9	35	6,7	0,6	35	69,0	5,1
Tourteau de lin	2	8,5	1,7	2	4,6	0,0	2	55,4	10,5
Tourteau de coton	4	9,6	0,4	4	7,1	0,7	4	73,3	4,4

¹: drêches de distillerie solubles

Table 2: Description statistique des résultats obtenus par SPIR pour chaque constituant

	Description des échantillons					Performance SPIR				
	n	moyenne	min	max	SD	SEC	R ² cv	SECV	SEP	Pente R ²
P total (g/kg)	372	5,1	0,3	25,5	2,7	0,67	0,91	0,82	0,80	1,021 0,92
P-Phytique (g/kg)	201	3,9	0,2	14,1	2,9	0,69	0,92	0,85	0,66	1,054 0,94

SD : écart-type de la population ; SEC: erreur standard de calibration; R²cv: coefficient de détermination obtenu par cross-validation; SECV: erreur standard de cross validation; SEP: erreur standard de prédiction; Pente: pente de la régression linéaire; R²: coefficient de détermination obtenu par validation interne

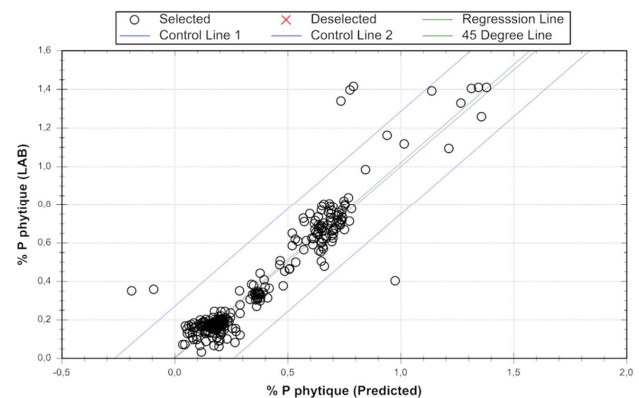


Figure 1 : Représentation de la population de prédiction du P phytique

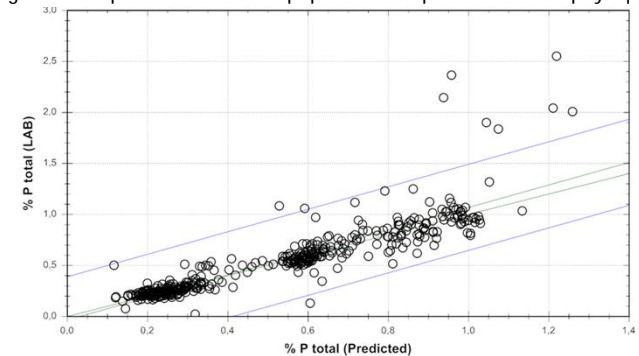


Figure 2 : Représentation de la population de prédiction du P total

CONCLUSION

Cette étude montre qu'il est possible de prédire la teneur en P-phytique et en P total dans les ingrédients d'origine végétale par la technique de SPIR. Le rapport SECV/SEC des deux constituants tend vers 1, conférant le statut de robuste à l'équation de calibration.