

La teneur en P des récoltes est un paramètre nécessaire au calcul exact des bilans en P. Le COMIFER a proposé en 2007 des valeurs de références médianes pour ces teneurs. Toutefois, la compilation bibliographique faite lors de ce travail du COMIFER a mis en évidence que les teneurs réelles en P des récoltes varient fortement autour de ces médianes.

Dans le calcul du bilan de P à la parcelle, la teneur des récoltes semble pouvoir varier plus fortement que le rendement (Denoroy et al. 2013)

De nombreux travaux (Colomb et al 2007, Anthony et al 2013, ...) montrent une relation nette entre teneur en P mobile du sol et teneur en P des récoltes, mais de telles références restent rares en France.

Nous avons exploité des résultats d'essais de longue durée, où une large gamme de teneur en P du sol est disponible, pour répondre à ces 2 questions :

- (1) Existe-t-il une réponse significative de la teneur en P total des récoltes à la teneur en P extractible du sol ? Quel est l'ordre de grandeur de sa variation relativement à la variation du rendement.
- (2) Quel modèle statistique simple est le plus performant pour formaliser cette relation ?

Matériel & méthode

Les essais de longue durée utilisés sont présentés dans le tableau 1. Les cultures étudiées (tableau 2) ont été choisies pour des années présentant des rendements moyens pour le site considéré (une année pour chaque culture présente dans un site).

Les offres en P par le sol sont exprimées en mg P Olsen / kg de terre ; les teneurs de P dans les récoltes sont exprimées en g P / kg Matière Sèche. Les rendements sont exprimés en quintaux/ha aux normes de matière sèche.

Les gammes de variation des teneurs et rendements sont exprimés en indice par rapport aux valeurs moyennes pour le traitement médian P1. Ces indices de teneur et de rendement pour chaque traitement sont classés par le test de comparaison multiple de Tukey (seuil à 5 %).

La relation entre teneur P du grain et offre P du sol est ajustée aux modèles décrits dans le tableau 3. L'adéquation des modèles est évaluée par leur erreur-type résiduelle (RSE = residual standard-error) reportée dans le tableau 2.

Résultats et discussion :

La gamme de variation de la teneur des récoltes est le plus souvent supérieure à celle des rendements (tableau 2) et la différence entre traitements extrêmes est toujours très significative (une à plusieurs classes de comparaison entre traitements extrêmes). De façon générale, la variation relative de la teneur en P des grains est du même ordre de grandeur que celle du rendement. Pour calculer des bilans en P à la parcelle, on devrait donc apporter autant de soin à évaluer la teneur minérale des grains que le rendement.

Le modèle de description de la relation entre teneur P des grains et des sols donnant le plus souvent la meilleure adéquation aux données expérimentales est le modèle de Mitscherlich.

Les différences d'ajustement entre modèles restent limitées comme illustré dans les deux situations présentées dans la figure 1. Mais le modèle logarithmique surestime fortement la teneur des grains aux teneurs élevées en P du sol et le modèle linéaire-plateau ne rend pas bien compte de l'évolution progressive de la teneur des grains suivant la teneur en P du sol. Ces constats justifient donc également le choix du modèle de Mitscherlich.

Conclusion :

Nos hypothèses de départ sont confirmées dans tous les cas étudiés :

- Sous une large gamme d'offre du sol en P, la teneur en P des grains varie dans un même ordre de grandeur que le rendement.
- L'offre du sol en P est un facteur fortement explicatif de cette variation de teneur.
- Parmi les modèles statistiques pouvant formaliser la relation entre P Olsen du sol et P total des grains l'équation de Mitscherlich semble le plus robuste.

La généralisation de ces constats pour leur intégration dans des outils de pilotage des cultures nécessitera de collecter des données issues d'autres situations, en particulier pour évaluer l'influence et éventuellement intégrer dans le modèle, d'autres facteurs potentiels de variation des teneurs des récoltes : variété, rendement (dilution des minéraux dans la MS), autres facteurs de production (N) ...

Références bibliographiques :

- Anthony PM, Malzer GL, Sparrow SD, Zhang M (2013) Corn and Soybean Grain Phosphorus Content Relationship with Soil Phosphorus, Phosphorus Fertilizer, and Crop Yield. Commun Soil Sci Plant Anal 44:1056-1071. doi: 10.1080/0013624.2012.750337
- Colomb B, Debaeke P, Jouany C, Nolot JM (2007) Phosphorus management in low input stockless cropping systems: Crop and soil responses to contrasting P regimes in a 36-year experiment in southern France. Eur J Agron 26:154-165. doi: 10.1016/j.eja.2006.09.004
- Denoroy P, Mollier A, Niollet S, Gire C., Barbot C., Plénet D., Morel C., et al (2013) Définir l'optimum agro-environnemental de fertilité phosphatée grâce à un essai de longue durée. COMIFER-GEMAS, 11èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse - COMIFER - GEMAS Poitiers-Futuroscope 20 et 21 novembre 2013

Tableau 1 : Les sites d'essais

Site	Latitude & longitude	Type de sol	Gamme P Olsen (mg P/kg)	Nombre de traitements P	Nombre de répétitions
Grignon-Folleville (78)	N 48° 50' 30" ; E 1° 56' 12 "	luvisol	4 à 87	5	4
Toulouse Auzeville (31)	N 43° 31' 49" ; E 1° 30' 20 "	luvisol calcifié	3 à 36	4	12

Tableau 2 : les cultures traitées et les principaux résultats

Les indices de teneur et rendement sont exprimés par rapport à la moyenne du traitement médian P1

Site	culture	année	rendement potentiel qx/ha aux normes	gamme de variation des indices de teneur	gamme de variation des indices de rendement	erreur-type résiduelle modèle 1 "linéaire-plateau"	erreur-type résiduelle modèle 2 "logarithmique"	erreur-type résiduelle modèle 3 "Mitscherlich"
Folleville	Blé tendre	2011	85.3	0.79 (a) - 1.13 (c)	0.74 (a) - 1.02 (c)	0.182	0.183	0.186
Folleville	Blé dur	2008	74.8	0.77 (a) - 1.10 (b)	0.85 (a) - 1.02 (a)	0.233	0.253	0.236
Folleville	Orge hiver	2011	56.7	0.82 (a) - 1.09 (c)	0.87 (a) - 1.07 (a)	0.299	0.261	0.281
Folleville	Orge printemps	2009	60.2	0.75 (a) - 1.19 (d)	0.69 (a) - 1.07 (b)	0.163	0.155	0.148
Folleville	maïs	2009	82.6	0.69 (a) - 1.10 (b)	0.70 (a) - 1.00 (a)	0.139	0.163	0.128
Folleville	colza	2008	24.4	0.76 (a) - 1.08 (b)	0.66 (a) - 1.00 (a)	0.681	0.743	0.712
Auzeville	blé dur	2014	95.0	0.85 (a) - 1.14 (c)	0.66 (a) - 1.17 (c)	0.179	0.206	0.176
Auzeville	maïs	2013	122.2	0.80 (a) - 1.18 (c)	0.83 (a) - 1.07 (b)	0.369	0.338	0.349
Auzeville	sorgho	2012	111.7	0.79 (a) - 1.03 (b)	0.79 (a) - 1.05 (b)	0.367	0.283	0.252
Auzeville	tournesol	2005	36.7	0.78 (a) - 1.26 (c)	0.89 (a) - 1.05 (b)	0.465	0.473	0.438

Pour chaque culture, l'indice présentant la plus large gamme de variation est surligné de même que le modèle présentant la plus petite erreur-type résiduelle

Tableau 3 : Les modèles statistiques testés

P_grain : teneur en P des grains en g P / kg MS ; P_Olsen : teneur en P Olsen de la terre en mg P/kg terre a, b, seuil, plateau, pente, asymptote ; les paramètres des modèles (ajustés par la procédure nls du logiciel R)

Nom du modèle	Formalisme
logarithmique	$P_{\text{grain}} = a + b * \log(P_{\text{Olsen}})$
linéaire-plateau	Si $P_{\text{Olsen}} > \text{seuil}$, $P_{\text{grain}} = \text{plateau}$, sinon $P_{\text{grain}} = \text{plateau} - \text{pente} * (\text{seuil} - P_{\text{Olsen}})$
Mitscherlich	$P_{\text{grain}} = \text{asymptote} * (1 - \exp(-(P_{\text{Olsen}} - a)/b))$

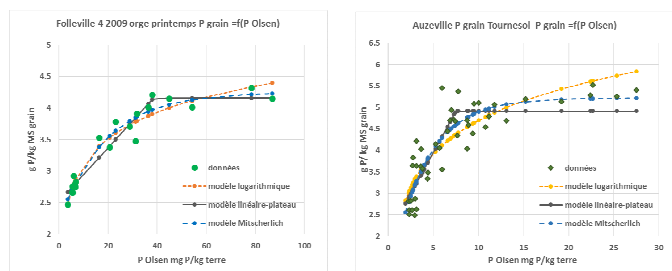


Figure 1 : exemples de réponses de P_grain à P_Olsen et modèles

