

Réévaluation des seuils de réponse des cultures à la teneur en phosphore biodisponible du sol

L. Jordan-Meille¹, A. Mollier², C. Montagnier³, G. Véricel⁴, P. Tauvel⁵, P. Denoroy²

¹ Bordeaux Sciences Agro, ² INRAE UMR ISPA, ³ INRAE UE Grande Cultures Versailles-Grignon, ⁴ ARVALIS, ⁵ ITB

1. Le principe du raisonnement du diagnostic de fertilité phosphatée des cultures

1.1. Principe de base

Le raisonnement de la fertilisation phosphatée des cultures (P) repose sur un diagnostic de la disponibilité en P du sol basé sur la teneur en P du sol jugée biodisponible. Cette estimation met en œuvre une extraction chimique. Le diagnostic de fertilité se fonde ensuite sur la comparaison entre la valeur mesurée sur un échantillon de sol prélevé au champ et un « seuil-P d'impasse » en dessous duquel la fertilisation est nécessaire. En France, ce raisonnement se fait par catégorie de sol et de classe d'exigence des cultures (COMIFER 2019).

1.2. Besoin de mise à jour des références historiques

Les seuils d'impasse pour P utilisés actuellement, proposés par Arvalis (ex-ITCF) dès 1993, souffrent de deux défauts : 1) ils ont été établis à partir d'un panel d'essais de longue durée des années 1980-1990 ("Grille COMIFER", 1995, complétée en 1997), sans réévaluation depuis, malgré la poursuite et la création de nombreux essais de fertilisation depuis cette période ; 2) les bases de données utilisées et les méthodes de traitement statistique appliquées à l'époque n'ont pas été publiées. La mise à jour des références, la traçabilité des données et des méthodes, le raisonnement au plus près de l'utilisation des ressources phosphatées en agriculture, sont une exigence vis-à-vis des standards scientifiques actuels ainsi qu'une nécessité eu égard à une réglementation environnementale qui se resserre autour des pratiques de fertilisation P (réglementation « Cd », projet de « Green Deal » de la C.E.).

1.3. Démarche générale de réévaluation des seuils et périmètre des travaux en cours

A partir d'un jeu de données récentes, nous comparons les résultats de calculs de seuils d'impasse obtenus selon plusieurs méthodes couramment utilisées dans les travaux internationaux, ainsi que celle ayant prévalu aux références actuelles. Cette démarche, qui sera étendue à tous les essais disponibles (annuels ou de longue durée), est un préalable nécessaire à un choix éclairé, objectif et consensuel de la future méthode de traitement statistique des données qui serait validée par le COMIFER. A court terme (2022), le COMIFER ambitionne de publier des seuils d'impasse réévalués en fonction des types de cultures (exigences) et des types de sol suivant la méthode statistique retenue. Parallèlement, un projet de réévaluation des teneurs en P optimales dans les parties récoltées correspondant aux seuils d'impasse est en cours ; ses premiers résultats sont présentés sur un autre poster (Denoroy *et al.* 2021).

2. Matériels et méthodes

2.1. Base des données retenues pour l'étude

Les données traitées sont issues du dispositif de longue durée de Grignon-Folleville (78), installé en sol de texture limon argileux (GEPPA) profond et alcalin, et comprenant 5 soles en parallèle. Par soucis de concision, elles ne traitent que des cultures de blé tendre et de maïs, d'escourgeon, de betterave, plantes réputées non exigeantes, moyennement exigeantes et exigeantes, respectivement, selon la classification actuelle. Pour chaque traitement, le nombre de répétitions varie de 2 à 5. Sur la période d'étude, le blé a été cultivé 16 fois, le maïs 18 fois, l'escourgeon 13 fois et la betterave 3 fois. Pour chaque « essai » (une plante, une année, sur une sole), les données utilisées sont les teneurs en P biodisponible du sol (POlsen, mg P₂O₅ kg⁻¹ sol) et les rendements mesurés, normalisés à 15% d'humidité pour les céréales ou en poids de racine pour la betterave. Chaque « essai » se compose ainsi de 20 à 30 points une fois exclus les traitements où le K pourrait être limitant. Les essais ne répondant pas, et ceux dont les rendements n'atteignent pas de plateau sont retirés de la base de données. Ils représentent six cas, également répartis sur blé, maïs et escourgeon, correspondant à des années où d'autres facteurs que P ont été déterminants (accidents climatiques, maladies).

2.2. Méthodes de traitement statistique employées

Pour chaque « essai », cinq méthodes de traitement des données sont utilisées dans le but de calculer, pour chacune, le seuil-P d'impasse : points de rupture pour les modèles linéaire-plateau (L-P) et quadratique-plateau (Q-P), Mitscherlich (95% du rendement asymptotique de ce modèle), Cate-Nelson (C-N, définitions de quadrants). Pour les quatre premières méthodes, chaque essai est traité séparément, à l'échelle annuelle, et une valeur moyenne des seuils est ensuite calculée par culture. La cinquième méthode est celle qui avait été retenue pour l'édition des seuils de la « grille COMIFER » (1995). Elle est basée sur une résolution graphique permettant de visualiser, sur des données moyennes d'indice de rendement et de teneur en P₂O₅ (toutes années confondues), celle des valeurs avec le POlsen le plus élevé qui passera en dessous du seuil de 90% du rendement max.

La qualité de l'ajustement des trois premiers modèles est estimée par l'erreur quadratique moyenne (RMSE), basée sur le calcul de la somme des carrés des écarts entre les valeurs expérimentales et modélisées. Les deux autres méthodes sont dépourvues d'un tel indicateur qualitatif, car ne donnant pas lieu à un ajustement statistique.

3. Résultats des simulations sur les données de l'essai de Folleville

3.1. Positionnement des méthodes de calculs sur les valeurs-seuils et la qualité de leurs ajustements

Pour une culture donnée, la méthode de calcul influence toujours significativement le résultat (tableau 1). Systématiquement, c'est la méthode utilisée pour la « grille COMIFER » qui fournit la plus forte valeur, suivie (de loin) par la méthode Q-P. La méthode C-N fournit toujours les seuils les plus faibles, ce qui peut s'expliquer par le fait que ce seuil correspond à une nette perte de rendement (10-15 %). Les modèles L-P et Mitscherlich donnent des résultats intermédiaires et comparables. Concernant la qualité des ajustements (RMSE), le modèle de Mitscherlich obtient le meilleur score.

3.2. Classement des cultures vis-à-vis de leur seuil : exigences rebattues ?

Aucune des cultures ne se distingue significativement des autres au niveau de ses seuils d'impasse, quelle que soit la méthode choisie. La betterave, connue pour être une plante exigeante, ne possède d'ailleurs le seuil le plus haut que pour une seule méthode (Linéaire-Plateau). C'est le modèle de Mitscherlich qui discrimine le plus les cultures sur la base de leurs seuils (non significatif).

	Linéaire-Plateau				Quadratique-Plateau				Mitscherlich (95%)				Cate-Nelson				Méthode				
	Moy	ET	Med	RMSE	Moy	ET	Med	RMSE	Moy	ET	Med	RMSE	Moy	ET	Med	Δ Rdt	ARVALIS 1995				
	mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹				mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹				mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹				mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹				%	mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹			
Blé tendre	31	bc	12	25	6,3	50	a	30	42	9,7	42	ab	30	33	6,2	20	c	5	20	13	81
Mais	30	b	11	29	8,5	45	a	25	40	8,3	30	b	12	26	8,4	22	b	7	21	15	81
Escourgeon	32	ab	7	33	5,6	42	a	17	37	5,3	37	a	16	30	5,3	22	b	7	20	14	57
Betterave	39	ab	9	33	6,4	49	a	8	45	6,4	28	bc	3	30	6,4	21	c	4	23	10	ND

Tableau 1 : Seuils d'impasse calculés selon les cinq méthodes

Moy : moyenne – ET : écart-type – Med : médiane – RMSE : moyenne des erreurs quadratiques moyennes – Δ Rdt : Perte de rendement au seuil calculé par la méthode de Cate-Nelson – Lettres minuscules : significativité des moyennes, pour une culture donnée, entre les méthodes ($\alpha = 5\%$). A n'utiliser qu'en lecture par ligne.

4. Conclusions

Sur la base d'un seul jeu de données, il est difficile de trancher sur le choix des modèles à adopter. En revanche, quel que soit le modèle, les seuils réévalués apparaissent très inférieurs aux seuils actuels. La présente méthode d'étude va être appliquée à une gamme plus large de cultures et surtout de sols, en vue de tirer des conclusions plus générales et viser la production d'un nouveau jeu de références.

Références bibliographiques (téléchargeables <https://comifer.asso.fr/fr/publications.html>)

- COMIFER 2019. La fertilisation P K Mg : bases du raisonnement. 39p ; Comifer Paris ;
 COMIFER 1995 : Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation P K des grandes cultures
 Denoroy *et al.* 2021 Vers une réévaluation des teneurs de référence du P dans les récoltes. Poster, 15^{èmes}
 Rencontres Comifer-Gemas (24- 25 novembre 2021, Clermont-Ferrand)

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du programme Investissements d'Avenir, au sein du labEx COTE (ANR-10-LABX-45)

