

Définir l'optimum agro-environnemental de fertilité phosphatée grâce à un essai de longue durée

Denoroy P.⁽¹⁾, Mollier A.⁽¹⁾, Niollet S.⁽¹⁾, Gire C.⁽¹⁾, Barbot C.⁽¹⁾, Plénet D.⁽²⁾, Pastuszka P.⁽³⁾, Morel C.⁽¹⁾
⁽¹⁾ INRA, UMR 1120 Bordeaux Science Agro TCEM, Bordeaux
⁽²⁾ INRA, UR1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, Avignon
⁽³⁾ INRA, UE 0570 Forêt Pierroton, Bordeaux

Le phosphore (P) est un élément nutritif indispensable de la croissance végétale. La fertilisation est souvent nécessaire pour éviter que la nutrition phosphatée des plantes ne soit limitante. Mais elle peut générer un risque pour l'équilibre biologique des eaux de surface si le P s'y trouve transféré.

On peut définir, relativement au résultat de l'analyse de terre, un seuil de risque agricole au dessus duquel le risque de carence est négligeable, et un seuil de risque environnemental au dessus duquel le risque de transfert sous la zone d'enracinement devient trop élevé. Si le second seuil est supérieur au premier, on a entre ces deux seuils une gamme de valeurs définissant un optimum agro-environnemental. Dans le cas contraire, un arbitrage entre les deux risques sera nécessaire.

Dans le cas particulièrement sensible de la maïsiculture intensive sur sol sableux, cet optimum théorique existe-t-il ? Nous étudions cette question par le suivi à long terme -sol et cultures- d'un essai comparant des régimes contrastés de fertilisation phosphatée dans le contexte des Landes de Gascogne, où l'absence de pente fait que la lixiviation est le seul mécanisme de transfert du phosphate vers le sous sol puis les canaux de drainage et le réseau hydrographique.

Dispositif expérimental de Pierroton

L'essai INRA de longue durée P de Pierroton (33), conduit depuis 1995 en monoculture de maïs irriguée, est représentatif d'un contexte particulièrement sensible. En effet, le sol (podzol) de texture très sableuse (93 % de sable) retient peu les ions phosphates, et le bilan hydrique est très excédentaire du fait d'une pluviométrie de l'ordre de 1300 mm/an (pluie + irrigation).

L'essai comporte 5 traitements P (doses) disposés en 4 blocs randomisés : la dose du traitement P1 correspond à l'exportation moyenne de P par les grains récoltés (≈ 20 kg P/ha.an), et les traitements P0.5, P0.75, P2 et P4 reçoivent des doses proportionnelles à P1. Initialement, les parcelles P0.5 ne recevaient aucun phosphore, mais ce traitement a été modifié en 2002 car son rendement avait chuté de plus de 80 % par rapport à P1.

Le pH du sol est maintenu autour de 6.0-6.5 et les autres éléments nutritifs sont apportés de façon non limitante. Le labour est effectué sur 25 cm et homogénéise l'horizon de surface.

On présente ici les résultats acquis sur la période 1995-2011, où le maïs grain a été cultivé tous les ans à l'exception d'une année de jachère non fertilisée (2006) et une année de carotte (2010). La teneur en P du sol a été appréciée par la méthode d'extraction au bicarbonate de sodium (P-Olsen).

Production de grain, bilans de P et dynamique du P du sol

Traitement	P0.5	P0.75	P1	P2	P4
Fertilisation annuelle moyenne (kg P/ha)	5.6	14.4	23.1	46.3	92.5
Rendement moyen (T/ha ; 85% MS)	7.65 d	11.54 c	12.48 b	13.13 ab	13.42 a
Index / P1	0.61	0.92	1	1.05	1.08
Teneur P des grains (g P / kg MS)	1.50 e	1.81 d	2.07 c	2.41 b	2.74 a
Index / P1	0.72	0.86	1	1.19	1.40

Les traitements conduisent à des résultats contrastés permettant d'explorer une large gamme de situations

Lettres après valeurs de rendement ou teneur P : groupes homogènes suivant un test Tukey

Le rendement n'est pas limité par les traitements P2 et P4 puis montre une réponse croissante à la carence (P1 à P0.5). Les teneurs P des grains varient aussi suivant l'offre P du sol.

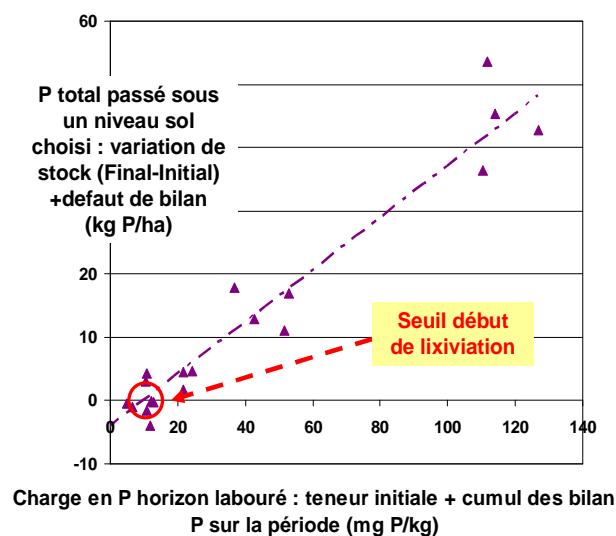
Par le suivi des teneurs en P Olsen du sol sur 16 ans (3 couches de 25 cm chacun, échantillonnées tous les 4 ans), nous mettons en évidence un transfert du phosphate en dessous de la couche labourée dès la 4^{ème} année de suivi pour les deux régimes P2 et P4. L'augmentation continue des teneurs en P Olsen dans les couches 25-50 et 50-75 cm de ces traitements a été corroborée par l'analyse du P total en 1995 et 2011. En plus de l'enrichissement des horizons profonds, le bilan analytique du P total sur 0-75 cm est déficitaire de 206 à 465 kg P/ha dans les parcelles P4, indiquant probablement une migration de P au-dessous de 75 cm (profondeur maximale d'enracinement du maïs dans ce contexte). Ces pertes n'ont pas encore commencé sur toutes les parcelles P2 mais le processus est

en cours. La sur-fertilisation est donc potentiellement dommageable à la qualité de l'eau drainée dans ce contexte, à l'échelle de temps de la décennie, ce qui est court. Toutefois, la possible fixation du P par les oxydes métalliques de l'argile, au-dessous de 75 cm de profondeur, n'est pas considérée ici. A l'inverse, aucune migration nette du P au-dessous de l'horizon labouré n'est significative sous les traitements P0.5, P0.75 et P1 après 16 ans d'expérimentation.

Détermination des seuils critiques en P pour la production et pour l'environnement

L'indice de rendement annuel de chaque parcelle est défini en relatif par rapport au rendement moyen annuel des traitements P2 et P4. La réponse de l'ensemble des indices de rendement à l'offre du sol exprimée en P Olsen, nous permet de définir le "seuil d'impasse" correspondant à la valeur critique de l'offre P du sol en dessous de laquelle il y a des pertes significatives de rendement pour une culture de maïs-grain. Ce seuil qui correspond au point de rupture de la régression suivant un modèle linéaire-plateau a pour valeur ajustée 10.5 mg P (Olsen) /kg (soit 24 mg P₂O₅/kg).

La relation entre la teneur P des grains et la teneur en P-Olsen du sol permet d'estimer la teneur en P du grain de maïs pour un niveau déterminé d'offre du sol afin de calculer la fertilisation d'entretien.



En mettant en relation la quantité de P transférée sous un niveau choisi du sol (variation de stock + défaut de bilan P total accumulée dans l'horizon de surface (teneur initiale + cumul des fertilisation-exportation par grains) on peut évaluer par régression un seuil de déclenchement de la lixiviation suivant la "charge" en P imposée par la fertilisation.

Ce seuil a été évalué dans le cas où on considère l'évolution du sol sous l'horizon labouré (profondeur 25-75 cm) ou bien sous le second horizon suivi (50-75 cm). La teneur limite, au dessus de laquelle le risque de migration en profondeur débiterait, apparaît suivant le cas –mais toujours de peu- inférieure (9.8 mg P/kg) ou supérieure (13.4 mg P/kg) au seuil en dessous duquel le rendement potentiel est affecté (10.5 mg P/kg).

Par conséquent, suivant la prise de risque vis-à-vis de P qu'on choisira, on pourra conduire la culture à son potentiel de rendement ou on devra légèrement limiter le rendement. Même dans le premier cas, la gamme très étroite d'offre en P du sol admissible nécessite une maîtrise très précise des flux.

Conclusion

Ce suivi d'un essai de longue durée permet de proposer pour ce contexte très sensible, des règles de bonne conduite pour la gestion du phosphore, compatibles avec une agriculture productive :

- gamme (étroite) de valeurs d'offre P du sol (horizon 0-25 cm) avec peu de risque de perte de rendement et sans migration en profondeur du phosphate : de l'ordre de 9.8 à 13.4 mg P/ kg (Olsen) (soit 22 à 31 mg P₂O₅/kg). Ce qui est très inférieur aux références actuelles.
- dose de phosphate soluble à apporter annuellement pour compenser exactement l'exportation par les récoltes à ce niveau d'offre P du sol et de rendement. Soit avec 2 g P/kg matière sèche grain (contre 3 g dans les références actuelles) pour une offre P du sol au niveau du seuil d'impasse, 22 kg P (50 kg P₂O₅) pour 130 quintaux de maïs aux normes.

Ces résultats mettent en évidence l'intérêt de dispositifs expérimentaux de suivi de longue durée (plusieurs décennies) concernant le sol et les bilans minéraux des cultures, dans des sites bien caractérisés et avec des traitements couvrant une large gamme d'apport en P.

Par ailleurs, dans ce type de sol où le transfert de minéraux peut être rapide, des pratiques permettant une meilleure utilisation réelle à court terme de l'engrais apporté (localisation d'engrais au semis, apport fractionné du P,...) devraient être étudiées pour évaluer leur intérêt pour diminuer le risque de lixiviation du phosphate.