

Dynamique à long terme du P dans deux essais au champ du réseau SOERE-PRO¹

Morel¹ C, Houot² S, Montenach³ D, Michaud² A, Hammel³ F., Mercier² V, Denroy¹ P

¹ INRA/BordeauxScienceAgro, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, UMR ISPA, F-33140 Villenave d'Ornon, France

² INRA/AgroParisTech, UMR ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

³ INRA, SEAV 0871 Plateforme expérimentale SOERE PRO, 68021 Colmar, France

Les produits résiduels organiques (PRO) représentent un gisement de phosphore (P) important dont la disponibilité pour les plantes est méconnue faute, en particulier, de références obtenues dans les conditions du champ. Le P de ces produits est majoritairement sous forme minérale et dans une moindre mesure sous forme organique. Après épandage, une partie du P peut être libérée dans la solution de sol sous forme d'ions phosphate ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}), désignés par P_{ions} dans la suite du texte, qui réagissent avec des sites de la phase solide du sol ce qui modifie les équilibres à l'interface solide-solution. Les P_{ions} dissous sont les formes absorbées par les racines des plantes. Mais la quantité présente à l'implantation d'une culture ne représente qu'une toute petite partie du P prélevé chaque année, de l'ordre du pourcent. La quasi-totalité des P_{ions} absorbés sont issus de la phase solide du sol. Ils transitent à l'interface solide-solution du sol dans des délais très variables, de quelques heures à plusieurs années, suivant les caractéristiques physico-chimiques du sol-récepteur et la spéciation du P des PRO.

L'objectif de cette étude était d'étudier l'impact de l'épandage répété de différents types de PRO sur la dynamique des stocks de P-total, P-organique, P-inorganique, et de P-disponible dans le sol en fonction du bilan de P entre les apports et les exportations dans les récoltes. Les deux plus anciens essais du réseau SOERE-PRO ont été analysés : QualiAgro (INRA-AgroParisTech, Véolia) mis en place dans un limon de pH neutre ; PROspective (INRA-Colmar) implanté dans un sol carbonaté (11% $CaCO_3$, pH=8.2). Dans chaque essai, il y a un traitement témoin ne recevant pas de phosphore.

MATÉRIEL ET MÉTHODES.

Dans QualiAgro, débuté en 1998, un fumier de vaches laitières (**FUM**) et 3 composts sont étudiés : un de déchets verts mélangés à une boue de station d'épuration urbaine (**DVB**), un d'ordures ménagères résiduelles (**OMR**), et un de biodéchets (**BIOD**). Leur épandage a été raisonné sur une base de 4 t C ha^{-1} tous les deux ans. Le sol est de texture limono-argileuse, décarbonatée et neutre (pH= 7.1). La succession culturale est une rotation maïs grain et blé d'hiver.

Dans PROspective, mis en place en 2001, 5 PRO sont étudiés : une boue de station d'épuration urbaine (**BOUE**), cette même boue compostée avec des déchets verts (**DVB**), un compost de biodéchets (**BIOD**), un fumier de bovins (**FUM**) et ce fumier composté (**FUMC**). L'épandage a été raisonné sur une base de 170 kg Ntotal ha^{-1} tous les deux ans. Le sol est un sol carbonaté ($CaCO_3= 11\%$; pH=8.2).

Tous les traitements ont été répétés 4 fois. Des échantillons de terre de la couche labourée ont été prélevés tous les deux ans, séchés à l'air, tamisés (2 mm) et stockés. Les rendements et leur teneur en P ont été mesurés chaque année. Les teneurs de P-total, P-organique et P-disponible pour les plantes ont été déterminées ainsi que les principales propriétés physico-chimiques des sols et la densité apparente. Le P-disponible du sol a été évalué :

- par une approche fonctionnelle et mécaniste en mesurant la concentration (C_p) des ions phosphate dans la solution du sol et la capacité du sol à réapprovisionner la solution sur de longues périodes;
- par l'extraction chimique Olsen à base d'une solution de bicarbonate de sodium 0.5 M.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Bilan cumulé de P

- A QualiAgro, la moyenne du P apporté est de **16, 30, 32** et **76** kg P ha^{-1} an^{-1} pour **OMR, FUM, BIOD**, et **DVB**, respectivement, après 7 épandages. Le P exporté dans les récoltes est en moyenne de 25.3 (± 0.7) kg P ha^{-1} an^{-1} pour les 4 PRO et de 22.6 (± 0.8) kg P ha^{-1} an^{-1} pour **TEM**. Le bilan cumulé de P en 2011, i.e. différence entre le P apporté et celui exporté, est de **-315, -86, +109, +270** et **1015** kg P ha^{-1} pour **TEM, OMR, FUM, BIOD** et **DVB**, respectivement
- Dans PROspective, le bilan cumulé de P en 2014 est respectivement de **-203, +3, +25, +35, +254** et **+380** kg P ha^{-1} pour **TEM, BIOD, FUM, FUMC, BOUE** et **DVB**.

Ces écarts importants de bilan entre les essais pour un traitement donné sont dus essentiellement à la base de raisonnement des épandages, 4t C ha^{-1} à QualiAgro et 170 kg Ntotal à PROspective et les différences de rapport C/P et N/P des PRO.

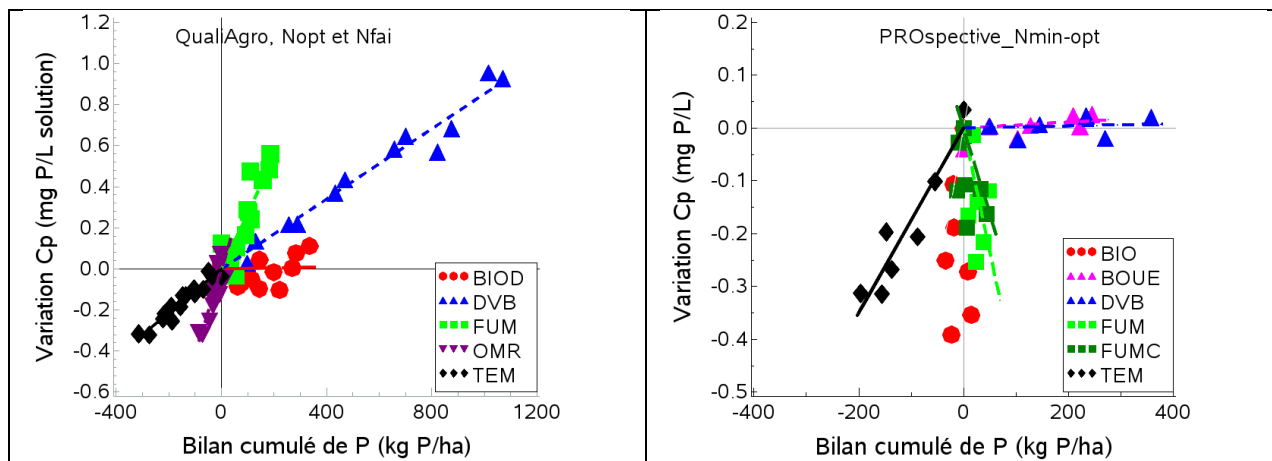
Relation bilan cumulé et bilan analytique de P

Dans les deux essais, l'impact des traitements est confiné à la couche labourée. Pour PROspective, 96% du bilan du P est retrouvé dans la couche labourée de sol (28 cm) et le complément dans la couche (28-35 cm). Pour QualiAgro, 90% du bilan de P est dans la couche labourée (29 cm) et 10 % en dessous (29-35 cm). Cette redistribution est expliquée par la difficulté de régler précisément la profondeur du labour. Dans les 2 essais, le compartiment de P-inorganique est directement proportionnel aux évolutions du bilan de P alors que le stock de P-organique ne varie pas significativement.

¹ SOERE-PRO : Observatoire de recherche en environnement pour l'étude du recyclage agricole de Produits Résiduels Organiques





Disponibilité du P des PRO

Dans ce résumé, seules les évolutions de la solubilité du P des sols, estimée par C_p , sont présentées. Sa valeur initiale est de 1.04 et 0.69 mg P L⁻¹ à QualiAgro et PROspective, respectivement. La baisse de C_p est plus rapide avec les bilans négatifs dans **TEM** de PROspective que dans **TEM** de Qualiagro (1.8 et 1.1 (µg P L⁻¹)(kg P ha⁻¹)⁻¹, respectivement). La variation de C_p avec le bilan cumulé de P, i.e. pente, diffère beaucoup entre PRO dans un sol donné et entre sols pour un PRO donné (voir figure). La pente de **DVB** est équivalente à celle du **TEM** à QualiAgro ce qui suggère que le P- **DVB** peut se substituer au P disponible du sol.



La composition de la phase liquide du sol est le résultat des interactions entre la solution et les phases solides du sol. La dissolution et la précipitation y jouent un rôle décisif de même que la diffusion à l'interface solide-solution. Les dynamiques différentes de solubilité du P peuvent être expliquées par les effets combinés de :

- la spéciation du P des produits et les conditions physicochimiques du sol. Par exemple, la présence de phosphates de calcium peu solubles de type apatitique dans certains PRO (**BIOD**) expliquerait la baisse de solubilité (et donc de disponibilité) du P dans le sol carbonaté. Cette phase apatitique avec la solubilité la plus faible contrôlerait C_p .
- modifications de la dynamique sol-solution des P_{ions} diffusibles suite aux épandages de PRO. Par exemple, à QualiAgro, la phase solide des sols amendés contient plus de P_{ions} susceptibles de réapprovisionner la solution sur des périodes longues que dans **TEM**. Cela est lié à des changements de propriétés physico-chimiques du sol (pH, teneur en MO, CEC...).

Christian MOREL		Sabine HOUOT		Denis MONTENACH	
	Ingénieur de recherche INRA Fonctionnement biogéochimique du cycle du P dans les agrosystèmes en fonction des sols et des pratiques agricoles. Conséquences sur le raisonnement de la fertilisation phosphatée		Directrice de Recherche INRA Valorisation agricole de matières fertilisantes d'origine résiduaire. Coordination scientifique du SOERE-PRO. Dynamique matière organique et azote. Conséquences sur les contaminants organiques		
Aurélia MICHAUD		Frédéric HAMMEL		Vincent MERCIER	
					Assistant Ingénieur INRA Responsable technique du site Qualiagro. Mesures physiques
Pascal DENOROY					
	Ingénieur de Recherche INRA Conception et Transfert des principes, méthodes & outils de raisonnement pour la gestion de la fertilité des terres agricoles				