

**MOREL C., ZIADI N., MESSIGA A., BÉLANGER G., DENOROY P., JEANGROS B., JOUANY C., FARDEAU J.-C., MOLLIER A., PARENT L.-E., PROIX N., RABEHARISOA L., SINAJ S.**

MOREL Christian (christian.morel@bordeaux.inra.fr) INRA, UMR ISPA, 33883 Villenave d'Ornon Cedex, France

## **Peut-on prévoir l'évolution à long terme du P dans des sols cultivés en fonction du régime de fertilisation?**

Dans les prochaines décennies, la raréfaction des gisements de phosphates naturels pourrait conduire à une pénurie de phosphore (P). Dans le même temps, les prévisions indiquent une population mondiale de 9 à 10 milliards en 2050. Il en résultera une demande accrue d'engrais afin d'augmenter la production agricole mondiale et répondre aux besoins alimentaires. Dans cette perspective de tensions fortes sur le marché mondial des engrais phosphatés, il est crucial de comprendre et prévoir la dynamique du P dans les sols agricoles afin d'améliorer le pilotage de la fertilisation phosphatée et l'efficacité d'utilisation des engrais P.

**L'objectif de ce travail est d'analyser la capacité d'un modèle décrivant le fonctionnement du cycle biogéochimique du P à l'échelle de la parcelle cultivée à prévoir les évolutions à long terme du P du sol disponible pour les plantes cultivées, i.e. phytodisponible, en fonction des types de sol et du régime de fertilisation phosphatée.**

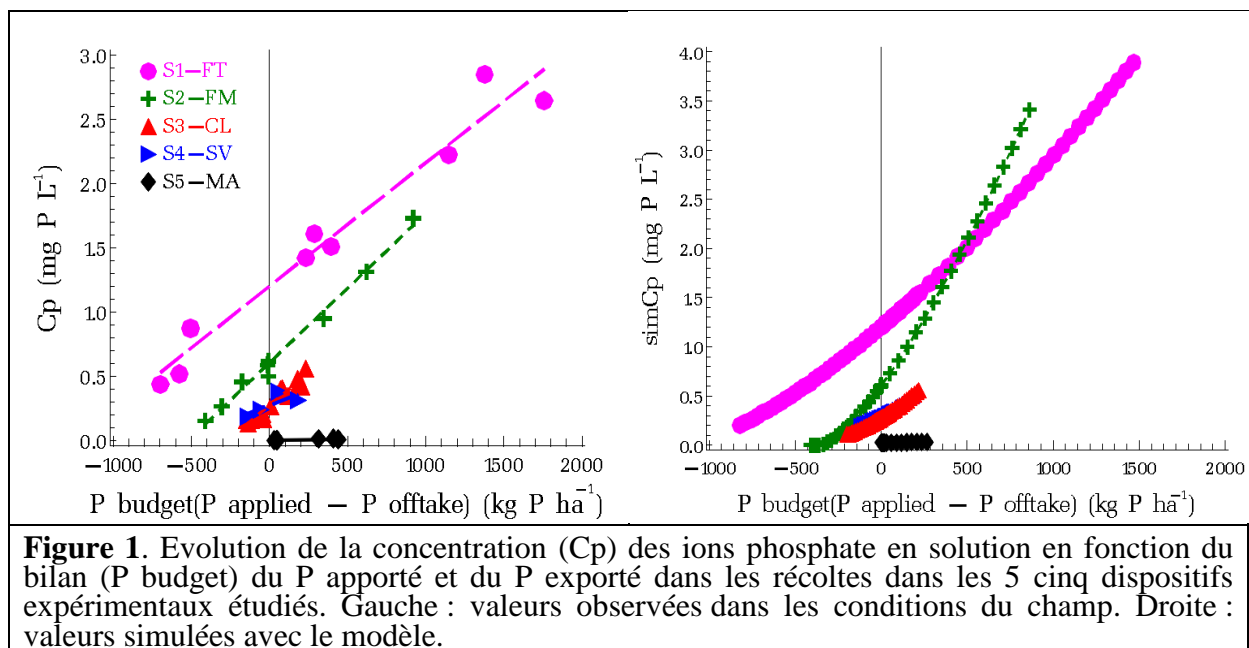
A partir des connaissances acquises, nous avons construit un modèle mathématique qui décrit les principaux stocks de P, les entrées et sorties de P et les transferts entre ces différentes composantes. Ce modèle permet de simuler divers scénarios et prévoir, par exemple, la dynamique du P phytodisponible du sol dans toute une gamme de conditions environnementales et de pratiques culturales. Il est construit avec une équation de conservation de masse et calcule le changement du stock de P phytodisponible dans une masse de terre donnée en fonction du bilan annuel de P. Le P phytodisponible a été évalué sur des bases mécanistes en considérant **la concentration ( $C_P$ ) des ions phosphate dans la solution du sol et sa mise à l'équilibre par diffusion à l'interface solide-solution sur une période d'un an**. Cinq essais de longue durée ont été sélectionnés en considérant plusieurs critères (Tableau 1): i) connaître chaque année, les apports, les rendements et les teneurs en P des récoltes afin de calculer exactement la différence entre le P apporté et exporté dans les récoltes, i.e. bilan de P; ii) disposer d'échantillons de terre, prélevés régulièrement en cours d'expérimentation puis conservés; iii) couvrir une gamme d'agrosystèmes la plus large possible avec des types et des usages de sol contrastés, des climats variés et des régimes différents de fertilisation phosphatée minérale sous forme de triplesuperphosphate. Les échantillons de terre archivés ont été analysés avec ces nouvelles méthodes de caractérisation de la disponibilité du P du sol pour les plantes. Plus d'informations sur ces dispositifs et les méthodes d'analyse ont été publiées dans Morel et al. 2014.

**Tableau 1. Principales caractéristiques des 5 sites expérimentaux étudiés.**

Désignation	S1-FT	S2-FM	S3-CL	S4-SV	S5-MA
Localisation	Tartas (40, Fr)	Mant (40, Fr)	Lévis (Ca)	Les Verrières (Sw)	Antsirabé (Mg)
Altitude (m)	55	142	74	1150	1600
T annuelle (°C)	13.6	13.6	4.0	6.8	16.0
Pluviosité annuelle (mm)	917	917	692	1400	1400-1500
Usage des sols	Monoculture maïs	Monoculture maïs	Fléole	Prairie	Maïs-soja
Période d'expérimentation	1972-2000	1975-1991	1999-2006	1992-2008	1992-2007
Durée d'étude (ans)	28	17	8	16	15
FAO classification	Luvic Arenosol	Dystric Luvisol	Podzol	Cambisol	Ferralsol
Régimes de fertilisation	3	3	4	4	2
Années d'échantillonnage	1995, 1998, 2000	1981, 1987, 1992	2007	2008	2003, 2006, 2007
Épaisseur de sol analysé	0-25 cm	0-25 cm	0-15 cm	0-5 cm	0-20 cm
Masse de terre ( $t\ ha^{-1}$ )	3750	3500	1725	550	1800
Teneur argile (%)	6	12	nd	31	46
Teneur (Fe+Al)ox ( $mmol\ kg^{-1}$ )	42	63	nd	156	503

Les valeurs de  $C_P$  sont présentées dans la Figure 1-gauche pour les 5 sites et les différentes années d'échantillonnage. Elles augmentent ou diminuent proportionnellement aux bilans de P quand ils sont positifs ou négatifs. Pour des bilans proches de zéro,  $C_P$  reste stable. Pour chaque site, une droite de régression décrit la relation entre  $C_P$  et le bilan de P. Ses coefficients, i.e.  $C_P$  à bilan nul de P ( $C_{P0}$ ) et la pente ( $\Delta C_P$ ), variation de  $C_P$  par unité de bilan de P, varient significativement entre les différents sites.  $C_{P0}$  varie est compris entre 0.003 et 1.20 mg P L<sup>-1</sup>;  $\Delta C_P$  varie de près de 50 fois entre **S5-MA** et **S2-FM**, 0.025 (◆) et 1.2 (+) (µg P L<sup>-1</sup>) (kg P ha<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>, respectivement. Cet écart de comportement est expliqué par une capacité différente des sols à réagir avec les ions phosphates dissous que ce soit pour retenir les ions phosphate ou tamponner la  $C_P$ . Cette capacité est expliquée par une teneur en argile et en oxyhydroxides de Fe et d'Al beaucoup plus élevée dans **S5-MA** que dans **S2-FM** (Tableau 1), qui retient et tamponne le moins les ions phosphate en solution parmi les 5 sols étudiés (Figure 1).

Les simulations de  $C_P$  avec le modèle reproduisent correctement les évolutions observées au champ (Figure 1-droite) pour les 5 sites. Le classement des pentes simulées correspond à celui observé au champ pour les différents types de sol étudiés. L'analyse des écarts entre simulations et observations montre cependant que le modèle, d'une part surestime  $C_P$  lorsque les bilans sont positifs, et d'autre part sous-estime  $C_P$  lorsque les bilans sont négatifs, en particulier pour **S1-T** et **S2-FM**. Cette analyse permet de reconsidérer certaines hypothèses faites pour construire notre modèle. Par exemple, les écarts entre observations et simulations disparaissent en considérant des durées supérieures à un an pour rééquilibrer les ions phosphates à l'interface solide-solution (Messiga et al. 2015). Une meilleure prise en compte de la masse de sol explorée par les racines est une autre explication à privilégier, en particulier dans les écosystèmes prairiaux.



**Figure 1.** Evolution de la concentration ( $C_P$ ) des ions phosphate en solution en fonction du bilan (P budget) du P apporté et du P exporté dans les récoltes dans les 5 cinq dispositifs expérimentaux étudiés. Gauche : valeurs observées dans les conditions du champ. Droite : valeurs simulées avec le modèle.

Ce travail met en évidence tout l'intérêt des essais P de longue durée, y compris ceux stoppés mais qui ont été soigneusement conservés et archivés, pour construire, tester et améliorer des modèles décrivant le fonctionnement du cycle du P dans des parcelles agricoles sur une période de plusieurs décennies. Pour un agroécosystème, la dynamique du P du sol, disponible pour les plantes cultivées, est strictement expliquée par le bilan de P. Le modèle proposé rend compte de cette dynamique pour des types de sols très contrastés et pourra être utilisé pour piloter la fertilisation phosphatée. Cette démarche de modélisation permet également d'évaluer l'impact de pratiques innovantes telles que par exemple l'agriculture de conservation ou le recyclage de produits organiques sur le cycle du P.

## Bibliographie

Morel C, et al. 2014. Canadian J. Soil Sci. 94, 377-387. Messiga A.J., et al. 2015. Geoderma 243-244, 41-49