

GESTION À LONG TERME DE LA DYNAMIQUE DU PHOSPHORE DANS LES SOLS CULTIVÉS

Christian MOREL⁽¹⁾, Fabienne BUTLER⁽²⁾, Pierre CASTILLON⁽³⁾, Luc CHAMPOLIVIER⁽⁴⁾, Pascal DENOROY⁽¹⁾, Rémy DUVAL⁽⁵⁾, Daniel HANOCQ⁽⁶⁾, Anne Sophie KOUASSI⁽⁷⁾, Elizabeth KVARNSTRÖM⁽¹³⁾, Aimé MESSIGA⁽¹¹⁾, Mathieu METRAILLE⁽⁸⁾, Lilia RABEHARISOA, Nina RABOURDIN⁽²⁾, Christiane RAYNAL⁽⁹⁾, Thierry SAVOIE⁽¹⁰⁾, Sokrat SINAJ⁽¹⁴⁾, Noura ZIADI⁽¹¹⁾

⁽¹⁾INRA UMR TCEM, ⁽²⁾ACTA, ⁽³⁾Arvalis, ⁽⁴⁾CETIOM, ⁽⁵⁾ITB, ⁽⁶⁾Chambre d'Agriculture de Bretagne, ⁽⁷⁾UNILET, ⁽⁸⁾CETA de Romilly, ⁽⁹⁾CTIFL, ⁽¹⁰⁾Chambre d'Agriculture d'Eure et Loir, ⁽¹¹⁾Agriculture et AgroAlimentaire Canada, Québec, ⁽¹²⁾LRI-Université Tananarive (Madagascar), ⁽¹³⁾Stockholm Environment Institute (Suède), ⁽¹⁴⁾Agroscope-Changins (Suisse)

Pour faire évoluer le conseil agronomique de fertilisation phosphatée et en améliorer la fiabilité, nous avons réalisé un projet intitulé « *approche innovante pour le raisonnement de la fertilisation phosphatée des cultures, basé sur de nouveaux indicateurs d'évaluation de la phytodisponibilité du P dans le sol* ». Ce programme a bénéficié de la contribution financière du compte d'affectation spéciale pour le « Développement Agricole et Rural » (CasDAR n°7152) du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire. Le détail des travaux, des participants et des résultats sont à <http://www.acta.asso.fr/apps/accueil/autodefaut.asp?d=7732>

Résumé

Dans le cadre de programmes internationaux de collaboration et du projet CasDAR n°7152 réunissant plusieurs organismes français de recherche et de développement (ACTA, Arvalis, CETA Romilly, Chambre d'Agriculture d'Eure et Loir, Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Cetiom, CTIFL, INRA-UMR-TCEM, ITB, UNILET), nous avons testé la capacité prédictive d'un modèle décrivant le fonctionnement du cycle du phosphore (P) à l'échelle de la parcelle cultivée en confrontant des simulations à des observations de terrain obtenues dans des essais P de longue durée.

Les principaux flux et processus pris en compte par le modèle sont la fertilisation phosphatée, les exportations de P dans les récoltes, l'évaporation du sol, la transpiration par la culture, l'irrigation, la quantité d'ions phosphate lessivé par la lame d'eau drainée, la concentration des ions phosphate dans la solution du sol et leur transfert à l'interface solide-solution. Le modèle est construit avec une équation de conservation de la quantité de P du sol disponible pour les plantes désignée par le P phytodisponible du sol, la fraction susceptible d'être prélevé par des plantes (qui participe à la nutrition phosphatée) au sein de la quantité totale de P du sol. Cette équation consiste à écrire l'égalité sur une période donnée entre la variation de P phytodisponible et le bilan des entrées et des sorties de P phytodisponible. La quantité de P phytodisponible du sol est évaluée sur des bases mécanistes et non plus simplement chimique comme c'est le cas dans l'approche actuelle avec les extractions chimiques Olsen, Joret-Hébert ou Dyer. Cela consiste à prendre en compte d'une part les principaux flux d'entrées et de sorties de P à l'échelle de la parcelle cultivée et d'autre part des mécanismes d'importance qui interviennent dans le prélèvement de P du sol par les cultures. Deux processus déterminent largement la phytodisponibilité du P dans le sol :

- 1) les racines des plantes prélèvent les ions phosphate (H_2PO_4^- et HPO_4^{2-}) lorsqu'ils sont présents dans la solution de sol et n'absorbent pas d'autres formes de P;
- 2) le processus qui assure et contrôle le réapprovisionnement de la solution en ions phosphate est le gradient de concentration des ions phosphate entre les phases liquide et solide du sol. Cette différence est à l'origine d'un déplacement d'ions phosphates des zones les plus concentrées vers les moins concentrées. Ce transfert est proportionnel à l'intensité du gradient et dure tant que le gradient existe.

Pour chiffrer ces deux mécanismes, l'analyse de terre consiste d'une part à doser la concentration (C_p) des ions phosphate dans la solution de sol et d'autre part à paramétrer la dynamique des ions phosphate diffusibles à l'interface solide-solution du sol. Ces deux indicateurs sont déterminés au laboratoire après mise en suspension de 1g de terre dans 10 ml d'eau distillée en présence de biocide, puis en réalisant des expériences de sorption-désorption couplées à une technique de traçage isotopique et d'analyse cinétique de la dilution isotopique.

Sous sa forme actuelle, ce modèle est conçu comme un outil de simulation opérationnel en conditions agricoles. Le pas de temps de calcul est l'année et le modèle peut enchaîner les simulations sur plusieurs décennies. Il a été mis au point et développé par l'UMR TCEM (INRA-Bordeaux) afin de simuler l'évolution de la disponibilité du P du sol pour les plantes en fonction du type de sol et des pratiques agricoles.

Pour tester les performances de ce modèle, une dizaine de dispositifs expérimentaux français et étrangers (Suisse, Suède, Madagascar) de plein champ ont été analysés après 10 à 20 ans d'expérimentation. Ils ont été choisis pour explorer la gamme la plus large possible de situations pédo-climatiques. On y trouve le podzol des Landes de Gascogne, qui est un sol qui ne réagit quasiment pas avec les ions phosphate en solution mais aussi des sols ferrallitiques malgaches qui, au contraire, réagissent énormément. Tous les essais sont dédiés à l'étude de la fertilisation phosphatée et comportent en moyenne 3-4 régimes de fertilisation phosphatée. Ils sont labourés chaque année et cultivés sous grandes cultures. La couche analysée de sol est la couche labourée considérée comme homogène. Les couches sous-jacentes sont supposées ne pas contribuer à la nutrition phosphatée. L'engrais épandu est le triple superphosphate commercial, engrais soluble dans l'eau et le citrate d'ammonium.

Les caractéristiques physico-chimiques des sols, tous non carbonatés, sont très contrastées avec des valeurs de pH comprises entre 4.5 et 7.1, une texture variant de très sableuse (95% de sables) à argileuse, une teneur en oxyhydroxydes de fer et d'aluminium amorphes, comprise entre 36 à 519 mmol (Al+Fe) kg⁻¹ sol avec l'extraction à l'oxalate d'ammonium acide. Malgré cette gamme extrême de types de sol étudiés, le modèle calcule correctement pour les 11 essais (Figure 1) la variation, observée au champ, de la concentration des ions phosphate dans la solution de sol correspondant à une unité de bilan de P.

L'analyse chronologique détaillée, année après année sur une période de 17 ans, de l'un de ces essais a permis de préciser les performances du modèle. Il simule correctement les évolutions de la concentration des ions phosphate dans la solution du sol en régime d'impasse permanente et pour une fertilisation phosphatée équivalente aux exportations de P. Par contre, le modèle surestime les valeurs de la concentration des ions phosphate dissous pour un régime de fertilisation systématiquement excédentaire d'environ 3 fois le P exporté. Plusieurs causes sont à même d'expliquer cet écart entre simulations et observations faites au champ. L'une d'entre elle pourrait être que les couches de sols situées sous le labour contribueraient à la nutrition phosphatée d'autant plus que le statut P du sous-sol s'élève.

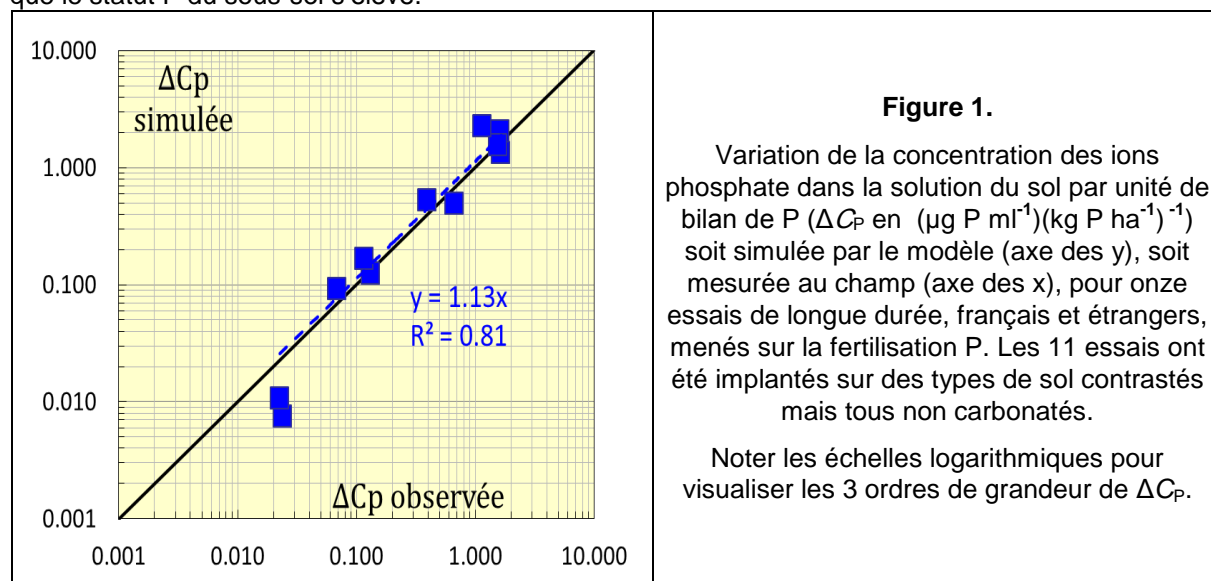


Figure 1.

Variation de la concentration des ions phosphate dans la solution du sol par unité de bilan de P (ΔC_P en $(\mu\text{g P ml}^{-1})(\text{kg P ha}^{-1})^{-1}$) soit simulée par le modèle (axe des y), soit mesurée au champ (axe des x), pour onze essais de longue durée, français et étrangers, menés sur la fertilisation P. Les 11 essais ont été implantés sur des types de sol contrastés mais tous non carbonatés.

Noter les échelles logarithmiques pour visualiser les 3 ordres de grandeur de ΔC_P .



Christian MOREL est ingénieur de recherche, habilité à diriger des recherches, travaillant sur l'étude et la modélisation de la dynamique du phosphore dans les sols en fonction des flux d'entrées et de sorties, des types de sols et de la nature des intrants.
Les sorties opérationnelles de ses recherches sont de développer des outils de gestion de la fertilisation phosphatée.

UMR INRA-ENITAB « Transfert Sol-Plante et Cycle des Éléments Minéraux dans les écosystèmes cultivés » (INRA- Bordeaux) : <http://www.bordeaux-aquitaine.inra.fr/tcem>