

Gare à la baisse de la biodisponibilité du phosphore

Par Christian Morel, Bernard Le Clech¹, Monique Linères et Sylvain Pellerin (UMR TCEM²)

Dans le cadre du programme Fertiagibio, une section de l'Unité Mixte de Recherche INRA-ENITA a étudié le statut phosphaté de sols cultivés suivant les pratiques de l'agriculture biologique sur des exploitations de polyculture stricte (sans élevage) converties à l'AB. Le constat de cette étude vient confirmer des résultats antérieurs : méfiance, la baisse de la biodisponibilité du phosphore guette ces exploitations. Alors que l'évaluation de l'état du phosphore a été suivie sur cinq sols cultivés suivant les pratiques de l'agriculture biologique pour des exploitations en polyculture stricte.

Le phosphore, est après l'azote un élément indispensable au bon fonctionnement des végétaux. Ils ont été étudiés et comparés à des sols géographiquement voisins mais cultivés suivant des pratiques conventionnelles. Chaque couple de parcelles a un sol aux propriétés texturales quasi-identiques. Trois couples sont situés dans le sud-ouest de la France et deux dans la région de la Beauce (sol argilo-limoneux). Les cinq couples ont été aussi choisis pour couvrir une gamme aussi large que possible d'antériorité de conversion en agriculture biologique (entre 3 et 32 années).

Pas de différence sur le phosphore total mais sur le phosphore de la biomasse microbienne

La teneur en phosphore total est comprise entre 370 et 840 mg P kg⁻¹ selon les couples de sols, soit une moyenne de 670 mg P kg⁻¹ (environ 2300 kg P ha⁻¹). Le phosphore est très majoritairement (70%) sous forme minérale. Quelle que soit le couple de parcelles, le mode de production n'affecte pas significativement les teneurs en phosphore total, minéral et organique. Par contre, le phosphore contenu dans la biomasse microbienne, qui ne représente que 1 à 2% de la totalité, double dans les sols cultivés suivant les pratiques de l'agricul-

ture biologique. Ce résultat est à relier à une teneur en carbone organique plus élevée dans ces mêmes sols.

Passage du phosphore de la phase solide à la phase liquide

Comme tous les éléments minéraux, le phosphore est prélevé par les racines et ses auxiliaires à l'état dissous sous forme ionique. Compte tenu des valeurs de pH (4,5 à 8,2) et des constantes acido-basiques de l'acide phosphorique, les deux espèces majoritairement présentes dans la solution, mais dans un rapport qui varie largement avec le pH, sont H₂PO₄⁻ et HPO₄²⁻. La concentration (Cp) des ions phosphates dans la solution de sol (tableau 1, page suivante) varie largement de 0,03 à 1,3 mg P L⁻¹ entre les sols et les modes de culture. Un calcul simple, concentration multipliée par le volume d'eau du sol à l'implantation d'une culture (de l'ordre de 2500 m³), montre que 90% à 99% du phosphore prélevé (environ 20 à 30 kg P ha⁻¹) par une culture a pour origine la phase solide du sol.

Le passage entre les phases solide et liquide du sol est donc l'étape déterminante qui contrôle la biodisponibilité du phosphore. Compte tenu de la complexité de la géochimie du phosphore (grande variété de réactions possibles

avec les minéraux phosphatés, les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium, les phases carbonatées et les matières organiques du sol) le transfert d'ions phosphates à l'interface solide-liquide peut être assuré par plusieurs mécanismes que la racine voire certains micro-organismes du sol mettent en œuvre du fait même de leur activité métabolique (respiration, absorption). Ces activités modifient les conditions physico-chimiques du sol dans l'environnement immédiat de la racine. Parmi toutes ces modifications, il en est une qui contribue de façon prépondérante à la nutrition phosphatée dans les sols de grandes cultures cultivés de longue date par des pratiques conventionnelles. Il s'agit de l'abaissement de la concentration de l'élément dans la solution suite à l'absorption par les racines. L'existence même d'un gradient de concentration entre la surface

¹ B. Le Clech, décédé en novembre 2004, était le porteur du programme Fertiagibio pour l'UMR TCEM. Il a, entre autres, participé à la coordination d'un ouvrage consacré à l'agriculture biologique (Agriculture biologique, 2003. Synthèse agricole, Lavoisier, Paris)

² morel@bordeaux.inra.fr, Unité Mixte de Recherche INRA-ENITA "Transfert sol-plante et cycle des éléments minéraux dans les écosystèmes cultivés", Centre de Recherche INRA de Bordeaux, 71, avenue Edouard-Bourlau, BP 81, 33883 Villenave d'Ornon cedex

Cycle biogéochimique du phosphore à l'échelle de la parcelle

Le phosphore apporté au sol subit de multiples transformations et passe entre les différents compartiments minéral, organique et microbien. Seule une petite fraction du phosphore présent dans le sol est susceptible d'être absorbée par les racines et les hyphes des champignons mycorhizogènes du sol et participer à la nutrition des cultures. Cette fraction, souvent appelée phosphore biodisponible ou assimilable, est d'une importance capitale puisqu'elle conditionne la fertilité des sols. Au terme du cycle physiologique de la plante, la part non exportée retourne au sol. Cette circulation entre le sol, la plante et

retour au sol constitue le cycle biogéochimique d'un élément. Dans les écosystèmes naturels, ce cycle est fermé et stationnaire puisque les entrées et les sorties de phosphore sont faibles et équivalentes. Dans les écosystèmes cultivés, l'exportation des récoltes hors de la parcelle, modifie profondément ce fonctionnement puisqu'une quantité importante de phosphore biodisponible est également exclue du cycle. Cette sortie contribue à abaisser la fraction biodisponible ce qui peut affecter la fertilité du sol à plus ou moins long terme. Ce réservoir est donc au cœur du fonctionnement du cycle biogéochimique et conditionne tout

particulièrement le flux de prélèvement de phosphore par la culture. La biodisponibilité du phosphore dépend potentiellement d'un grand nombre de réactions physico-chimiques et biologiques capables de libérer des ions phosphates dans la solution à partir des compartiments minéral, organique et microbien du sol. Ce sont les mêmes quel que soit le type de sol, son mode d'exploitation (grandes cultures, prairies, forêt), et les pratiques agricoles mises en œuvre dans le cadre de systèmes de productions. Par contre, ces mêmes facteurs peuvent modifier leur nombre et leur intensité de même que leurs interactions. En conséquence, l'importance relative de chacun de ces processus élémentaires dans le fonctionnement du cycle est probablement fonction des contextes et les pratiques agricoles.

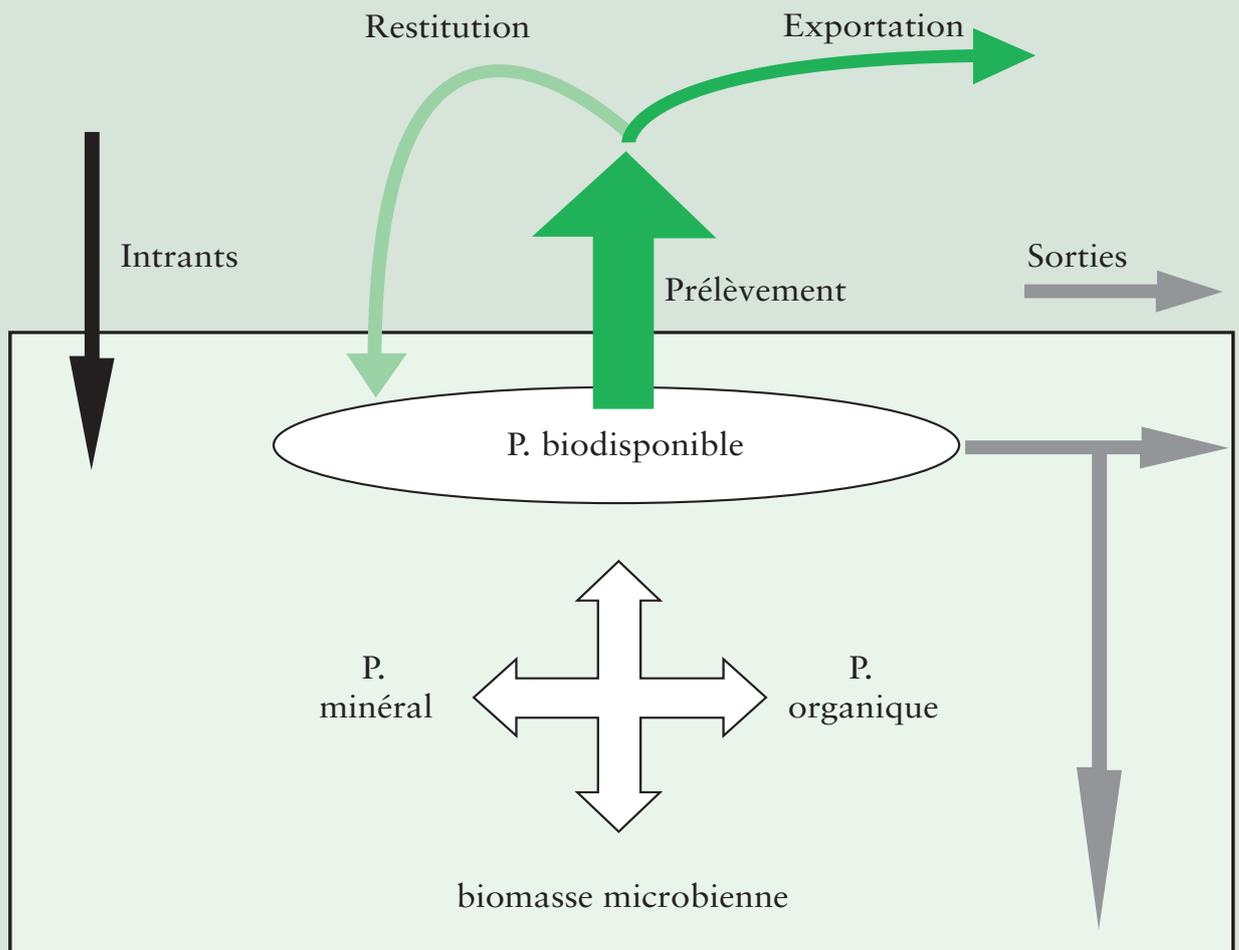


Figure 1 - Schéma du cycle simplifié de phosphore dans un écosystème cultivé présentant les flux possibles entre les différents réservoirs de phosphore. Les flèches en gris signalent les flux de sorties de P vers l'environnement par érosion, ruissellement, écoulement hypodermique et migration en profondeur.

N° couple (texture)	Mode an	Antériorité	Cp mg P L-1	Pr1j mg P kg-1	P-Olsen mg P kg-1	P-Dyer mg P kg-1
4 (S)	Conv		1,3b	31a	55a	205a
4 (S)	Bio,	3	0,9a	35a	59a	189a
1 (ALS)	Conv		0,08b	42b	20b	48a
1 (ALS)	Bio,	16	0,04a	23a	12a	43a
6 (LSA)	Conv		0,50b	26b	29b	228b
6 (LSA)	Bio,	26	0,09a	16a	10a	147a
7 (AL)	Conv		0,44b	74b	49b	155b
7 (AL)	Bio,	32	0,04a	18a	12a	136a
8 (AL)	Conv		0,52b	58b	46b	159b
8 (AL)	Bio,	32	0,03a	20a	8a	122a

Tableau 1 - Biodisponibilité du phosphore dans les échantillons de sol de 5 couples de parcelles, les unes cultivées selon des pratiques conventionnelles (Conv) et les autres selon le cahier des charges de l'agriculture biologique (Bio). Pour un couple donné, des valeurs annotées par des lettres différentes sont statistiquement significativement différentes.

de la racine, la solution et la surface de la phase solide du sol provoque le passage d'ions phosphates par simple diffusion moléculaire depuis les zones de concentrations élevées (phase solide du sol) vers des zones de moindre concentration (solution du sol et surface des racines). La quantité diffusible est fonction de l'espèce chimique et de sa concentration, de l'intensité et de la durée du gradient, du milieu traversé,...

Diffusion des ions phosphates à l'interface solide-solution du sol

Les travaux conduits par l'UMR TCEM ont permis de mettre en équation la dynamique des ions phosphates diffusibles à l'interface solide-solution du sol. Cette modélisation quantitative rend compte à la fois de la cinétique des réactions et des variations de la concentration dans la solution. A titre d'exemple, le tableau 1 présente la quantité d'ions phosphates diffusibles sur 1 jour (Pr1j) associée à la concentration mesurée (Cp). On y a joint des indicateurs, plus traditionnels mais moins pertinents, d'évaluation de la biodisponibilité du P

que sont les extractions chimiques par le bicarbonate de sodium (Olsen) ou l'acide citrique (Dyer).

Alerte ! Biodisponibilité du phosphore systématiquement inférieure en AB

Tous les indicateurs sont systématiquement inférieurs dans les parcelles cultivées selon les pratiques de l'agriculture biologique. Le plus discriminant est la concentration des ions phosphates dans la solution du sol alors que l'extraction Dyer met moins en évidence des différences entre les deux types de systèmes. L'écart entre les deux modes de culture augmente fortement avec l'antériorité de conversion en agriculture biologique. Dans les situations les plus anciennes, le niveau de biodisponibilité est proche de valeurs considérées comme pénalisantes pour le rendement selon des références établies en agriculture conventionnelle. Ces résultats, cohérents avec ceux obtenus par d'autres auteurs, montrent que l'entretien du statut phosphaté doit faire l'objet d'une vigilance particulière en agriculture biologique surtout pour les systèmes de production basés sur la seule polyculture (sans élevage). D'autres travaux indiquent en effet dans ce contexte que le bilan entre l'apport et la sortie de phosphore à l'échelle de la parcelle est régulièrement négatif. La

répétition sur plusieurs décennies de bilan négatif est source d'une diminution consécutive de la biodisponibilité du P. Par ailleurs, l'emploi de formes d'engrais phosphatés (phosphates naturels et phospal) particulièrement insolubles peut paradoxalement accentuer ce déclin dans les sols neutres et basiques.

Pour conclure, cette étude, appuyée par nombre d'autres, peut être vue comme un signal d'alerte d'une baisse de la biodisponibilité du phosphore dans les exploitations en polyculture converties à l'agriculture biologique. Plus généralement, les pratiques associées à ce type d'agriculture, rotation à bases de légumineuses, d'engrais verts et de plantes à enracinement profond, incorporation dans le sol de matières organiques, soulèvent des questions scientifiques fondamentales. Celle, par exemple, de la prise en compte pour le diagnostic et le raisonnement de la fertilisation phosphatée de l'influence des processus biologiques (et donc du rôle du stock de phosphore organique et des micro-organismes du sol) dans l'interception, l'absorption du phosphore et plus généralement dans la circulation du phosphore au sein de l'écosystème. Celle, également de l'acquisition des référentiels adaptés au niveau de production de ces systèmes et à l'épandage de produits organiques spécifiques. ■

³ En considérant une épaisseur de sol de 25 cm et une densité apparente de 1,4.

⁴ Cp est généralement estimée sur une solution filtrée de suspension de sol. Cette valeur est généralement très proche de la valeur mesurée dans une solution de sol in situ.