



**HAL**  
open science

## Adsorption du citrate et disponibilité du phosphate dans les sols : modélisation mécaniste

Marek Duputel, Nicolas Devau, Michel Brossard, Philippe Hinsinger, Benoît Jaillard, Frederic Gerard

### ► To cite this version:

Marek Duputel, Nicolas Devau, Michel Brossard, Philippe Hinsinger, Benoît Jaillard, et al.. Adsorption du citrate et disponibilité du phosphate dans les sols : modélisation mécaniste. 11. Journées d'Etude des Sols, Mar 2012, Versailles, France. hal-01268849

**HAL Id: hal-01268849**

**<https://hal.science/hal-01268849>**

Submitted on 3 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Adsorption du citrate et disponibilité du phosphate dans les sols : modélisation mécaniste

DUPUTEL Marek<sup>1,2</sup>, DEVAU Nicolas<sup>3</sup>, BROSSARD Michel<sup>4</sup>, HINSINGER  
Philippe<sup>1</sup>, JAILLARD Benoît<sup>1</sup> et GÉRARD Frédéric<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR Eco&Sols, INRA, 1 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France,  
[duputel@supagro.inra.fr](mailto:duputel@supagro.inra.fr)

<sup>2</sup> SupAgro, UMR Eco&Sols, 1 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> Division Eau, service Qualité, BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, 45100 Orléans,  
France

<sup>3</sup> UMR Eco&Sols, IRD, 1 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

### Contexte et objectifs

Le coût environnemental induit par l'usage d'intrants impose le développement de nouveaux systèmes agricoles. Une voie de recherche repose sur le concept d'intensification écologique des agro-écosystèmes (Cassman, 1999 ; Lynch, 2007 ; Hinsinger *et al.*, 2011). Elle nécessite la détermination des processus biogéochimiques modifiant la disponibilité d'éléments nutritifs tels que le phosphate (P), qui est limitant dans de nombreux sols. Certaines plantes exsudent des carboxylates qui entrent en compétition avec le P pour l'adsorption sur les phases minérales. Il est généralement admis que ces exsudats peuvent augmenter la disponibilité en P dans les sols. Cependant l'effet inverse a parfois été mesuré (Oburger *et al.*, 2011). La détermination des caractéristiques des sols, influençant l'effet des exsudats sur la disponibilité en P, est un aspect clef de l'optimisation des cultures. Le développement de nouvelles pratiques culturales nécessite l'étude de la variabilité des mécanismes induit par les exsudats racinaires selon les sols. Cela afin d'adapter au mieux les cultures aux divers types de terre arables existantes. La modélisation mécaniste constitue un outil pertinent permettant une meilleure compréhension de ces mécanismes (Geelhoed *et al.*, 1998 ; Devau *et al.*, 2011). L'objectif est d'utiliser cette approche afin d'étudier et de quantifier les effets de l'adsorption du citrate sur la disponibilité du P dans 4 sols et dans diverses conditions physico-chimiques.

### Méthode

Trois modèles d'adsorption ont permis de simuler les réactions d'adsorption des anions et des cations sur les minéraux et la matière organique du sol. Il s'agit des modèles 1-pK Triple Plans (Hiemstra and van Riemsdijk, 1996), simple ion-exchange (Mc Bride, 1989) et Nica-Donnan (Kinninburgh *et al.*, 1999). Nous avons adopté une approche additive, qui permet d'estimer les propriétés d'adsorption du sol comme la somme des propriétés d'adsorption de ses constituants. L'effet de l'adsorption du citrate sur la disponibilité du P a été étudié sur quatre sols non carbonatés : un Luvisol, un Chromic Cambisol et deux Ferralsols ; l'un kaolinique et l'autre goéthitique. Les concentrations en citrate utilisées, 10 et 100  $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ , sont représentatives de celles mesurées dans les sols (e.g. Guppy *et al.*, 2005). Les calculs ont été effectués sur une large gamme de pH, de 5 à 8.

### Résultats

A concentration élevée en citrate (100  $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ ), l'augmentation la plus importante de P disponible est observée à pH alcalin dans le Luvisol (50%). Par opposition les Ferralsols présentent une forte augmentation de la disponibilité de P sous l'effet du citrate à pH acide (100 et 25%).

A faible concentration de citrate ( $10 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ ), la concentration en P disponible à pH acide augmente dans une moindre mesure dans les Ferralsols (50 et 5%) et diminue dans le Luvisol (-25%) et le Chromic Cambisol (-50%).

L'addition de citrate dans un sol peut donc engendrer deux mécanismes. Le premier induit une augmentation du P disponible du fait d'une compétition entre les deux anions pour l'adsorption sur les phases minérales, goethite et illite notamment. Le second induit une diminution du P disponible du fait d'interactions électrostatiques successives entre anions et cations à la surface de l'illite et de la montmorillonite. Cet effet s'avère être fonction de la concentration en calcium et en citrate dans les sols.

## Conclusion

Le développement de systèmes de cultures durables nécessite l'étude des processus déterminant la disponibilité des éléments nutritifs dans les sols. L'objectif étant d'adapter les types de cultures aux sols dans lesquels elles mobilisent au mieux les ressources minérales et non les diminuent. Nous démontrons que la présence de citrate peut augmenter ou diminuer la disponibilité du P dans les sols. L'effet est fonction de la concentration en citrate et calcium, du pH et de la minéralogie des sols. La simulation et la prédiction des effets du citrate sur la disponibilité du P nécessitent la prise en compte des interactions avec les argiles et avec les oxydes de fer. Il est nécessaire de tenir compte de cette variabilité d'efficacité du citrate selon les sols sur le P disponible afin d'adapter les types de cultures à utiliser selon les sols et optimiser ainsi le rendement des cultures.

## Références

- Cassman, K.G. (1999). Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 96, 5952-5959.
- Devau, N., Hinsinger, P., Le Cadre, E., Colomb, B., Gérard, F., (2011a) Fertilization and pH effects on processes and mechanisms controlling dissolved inorganic phosphorus in soils. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 75, 2980-2996.
- Geelhoed, J.S., Hiemstra, T., Van Riemsdijk, W.H., (1998). Competitive Interaction between phosphate and citrate on goethite. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2119-2123.
- Guppy, C.N., Menzies, N.W., Moody, P.W., Blamey, F.P.C., 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Aus. J. Soil Res.* 43, 189-202.
- Hiemstra, T., Van Riemsdijk, W.H., (1996). A surface structural approach to ion adsorption: the charge distribution (CD) model. *J. Colloid. Interf. Sci.* 179, 488-508.
- Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen, J., Tang, X., Zhang, F. (2011). P for two, sharing a scarce resource – Soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiol.* 156, 1078-1086.
- Kinniburgh, D.G., Van Riemsdijk, W.H., Koopal, L.K., Borkovec, M., Benedetti, M.F., Avena, M.J., (1999). Ion binding to natural organic matter: competition, heterogeneity, stoichiometry and thermodynamic consistency. *Colloid Surface A.* 151, 147-166.
- Lynch, J.P., (2007) Roots of the Second Green Revolution. *Aust. J. Bot.* 55, 493–512.
- Mcbride, M.B., (1989). Surface chemistry of soil. In *minerals in soil environments* (eds. J.B Dixon and S.B Weed). Soil Science Society of America Book Series, Madison. pp. 35-84.
- Oburger, E., Jones, D.L., Wenzel, W.W., (2011). Phosphorus saturation and pH differentially regulate the efficiency of organic acid anion-mediated P solubilization mechanisms in soil. *Plant Soil.* 341, 363-382.