



HAL
open science

Représentations – Modélisation des interactions biotiques dans les sols

Philippe Hinsinger, Eric Blanchart, Simon Boudsocq, Frederic Gerard, Benoît Jaillard, Tanguy Daufresne, Claire Marsden

► **To cite this version:**

Philippe Hinsinger, Eric Blanchart, Simon Boudsocq, Frederic Gerard, Benoît Jaillard, et al.. Représentations – Modélisation des interactions biotiques dans les sols. Nouveaux défis de Modélisation pour l'Agro-écologie, Feb 2014, Paris, France. 19 p. hal-01268684

HAL Id: hal-01268684

<https://hal.science/hal-01268684v1>

Submitted on 5 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.

Représentations – Modélisation des interactions biotiques dans les sols



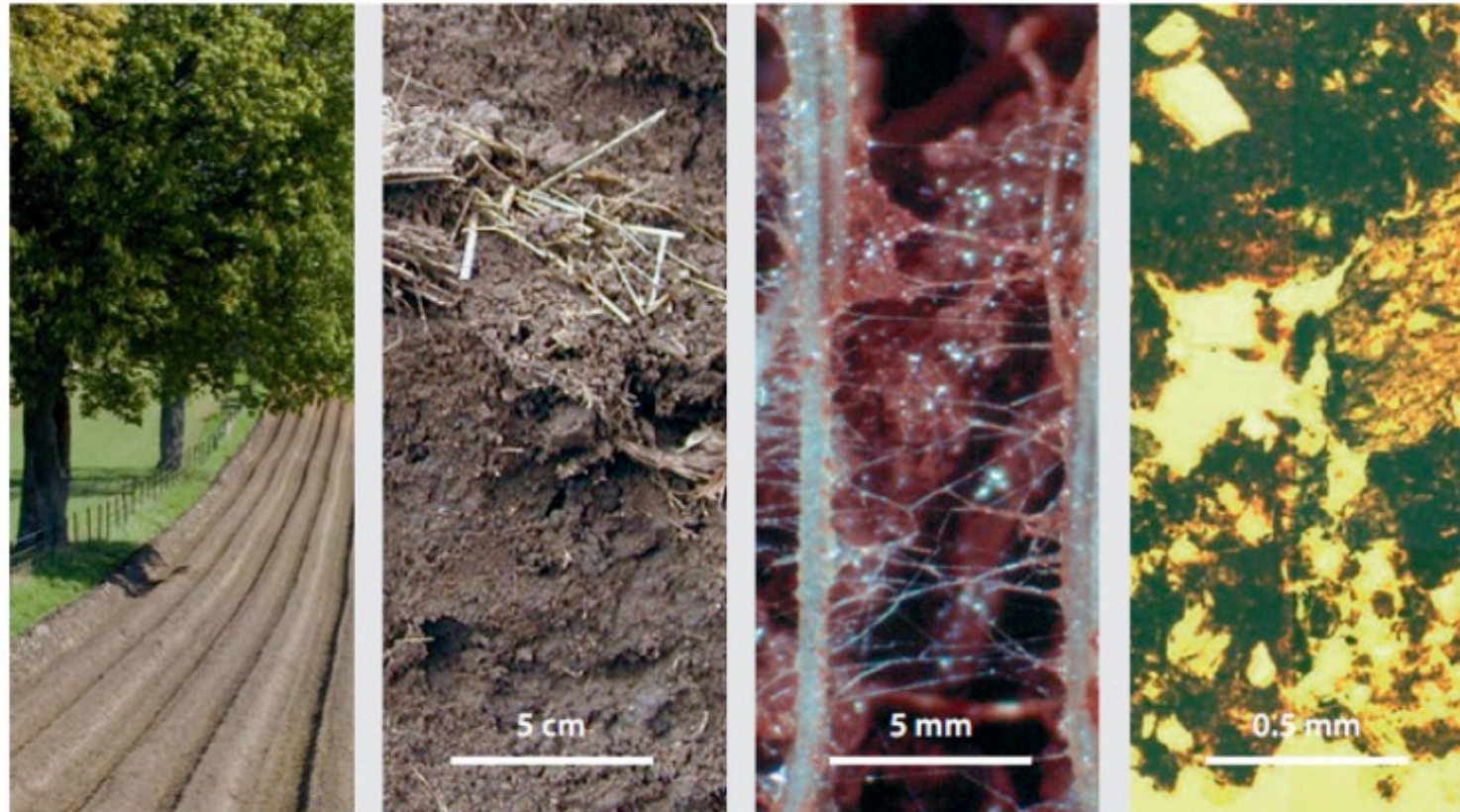
E. Blanchart
F. Gérard
T. Daufresne



S. Boudsocq
B. Jaillard
C. Marsden

Les sols : des environnements divers, complexes et hétérogènes structurés et organisés

à toutes les échelles spatiales



Les sols : le plus grand réservoir de biodiversité sur Terre*

(Curtis et al., 2002 – Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99)



du fait de leur hétérogénéité à différentes échelles,
propice à la différenciation de niches très diverses

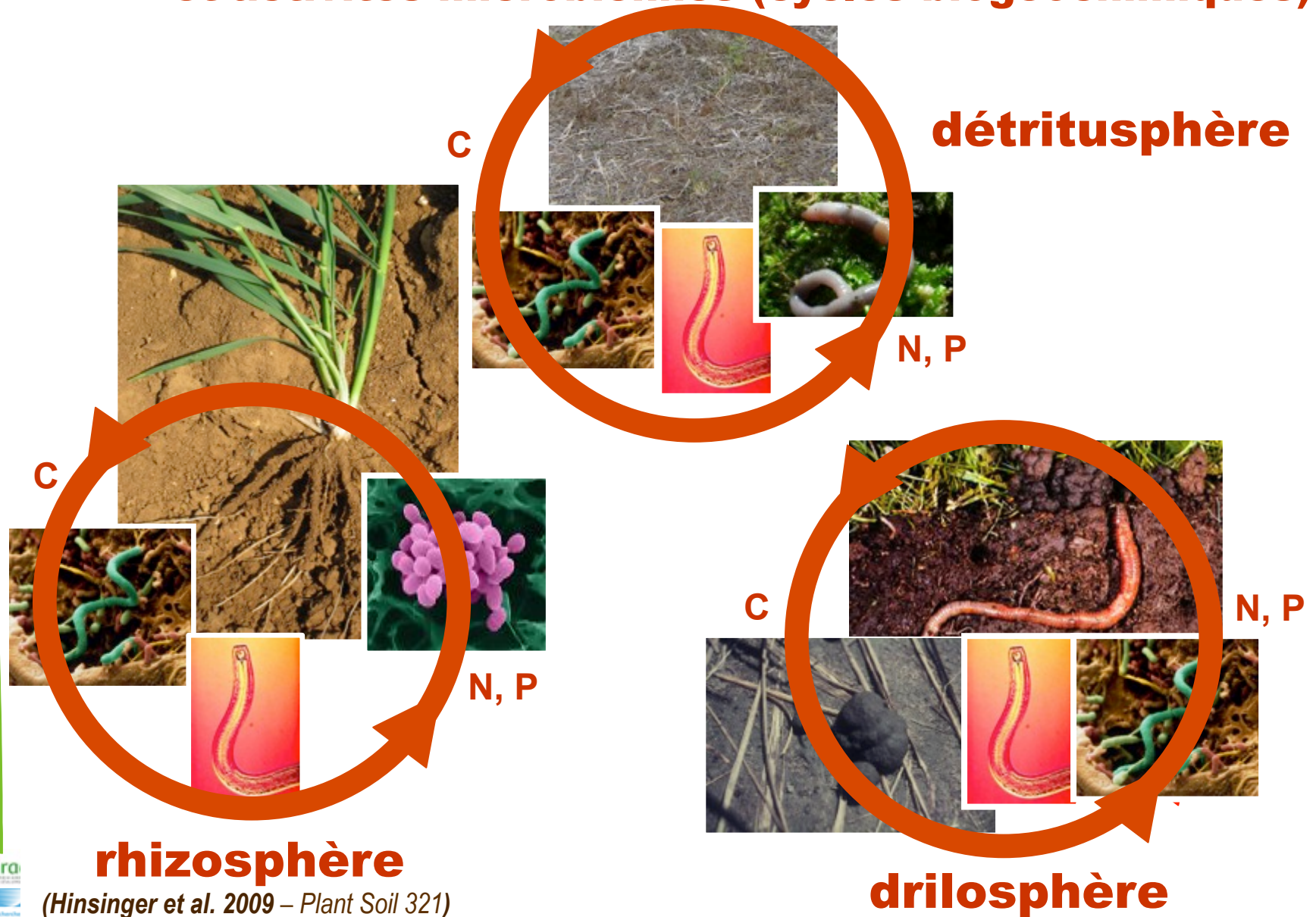
(Crawford et al., 2005 – Trends Ecol. Evol. 20)

* diversité des Procaryotes : +1000 fois supérieure
à celle de tous les autres environnements
terrestres confondus

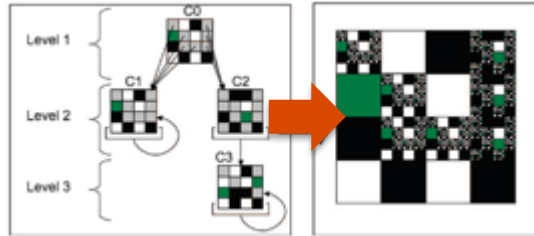
(Curtis & Sloan, 2005 – Science 309)

Les sols : des domaines fonctionnels *(sensu Lavelle et al. 1994)*

hot-spots des interactions biotiques/abiotiques et activités microbiennes (cycles biogéochimiques)



Les sols : hôtes d'ingénieurs de l'écosystème *(sensu Jones et al. 1994)*

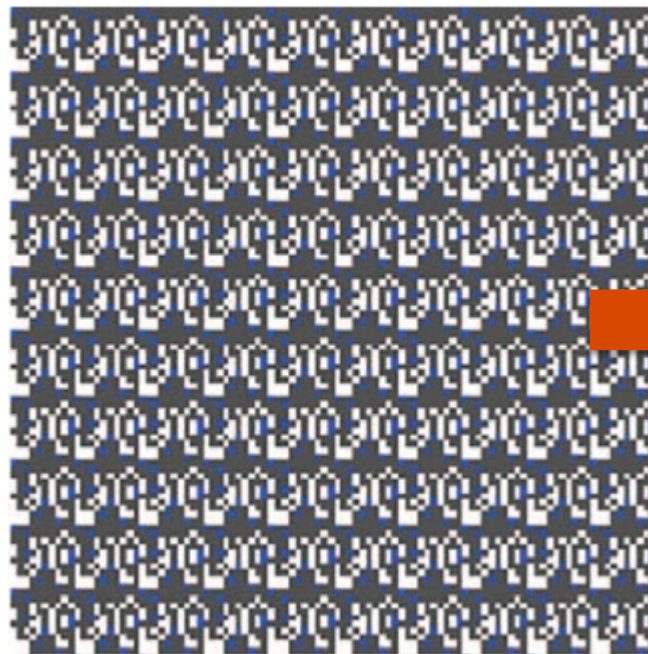


→ **modélisation multi-agents montrant la création de macroporosité par un ver de terre dans un sol virtuel**

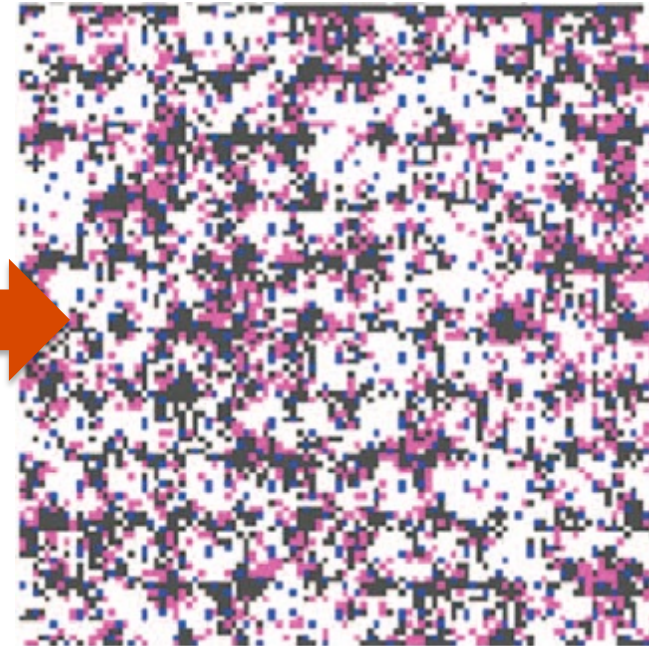


drilosphère

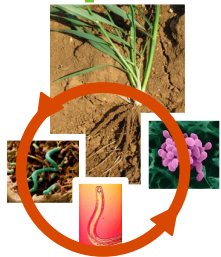
initial



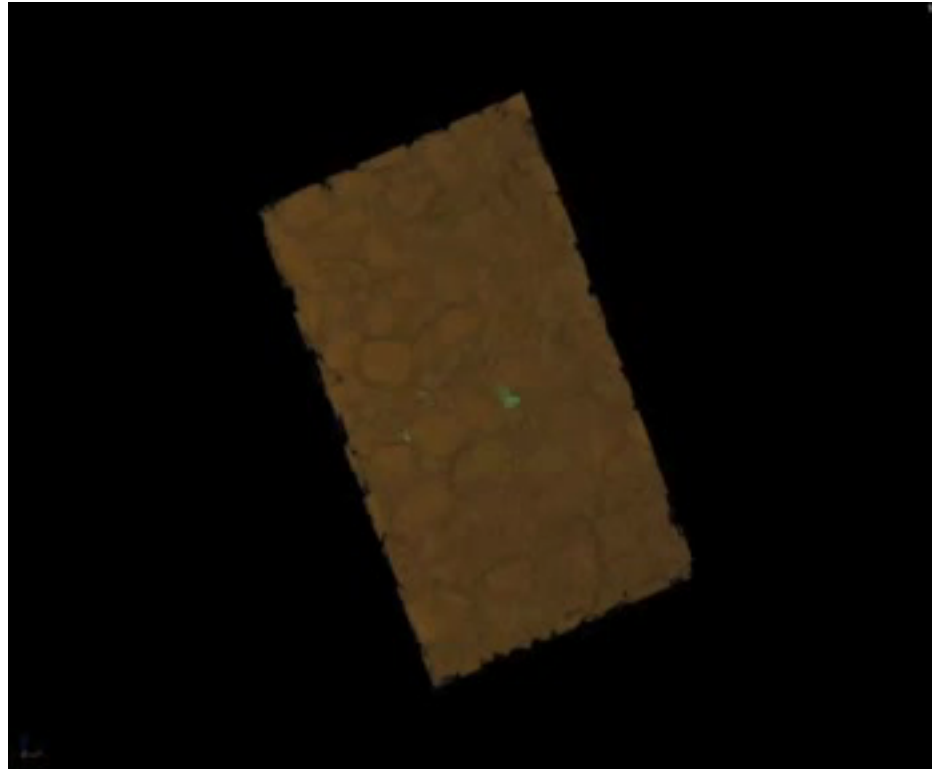
final



SWORM: an agent-based model to simulate the effect of earthworms on soil structure
(Blanchart, Marilleau, Chotte, Drogoul, Perrier & Cambier 2009 – Eur. J. Soil Sci. 60)



rhizosphère

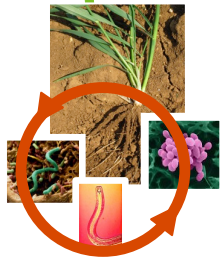


→ **modélisation
en 3D/4D**

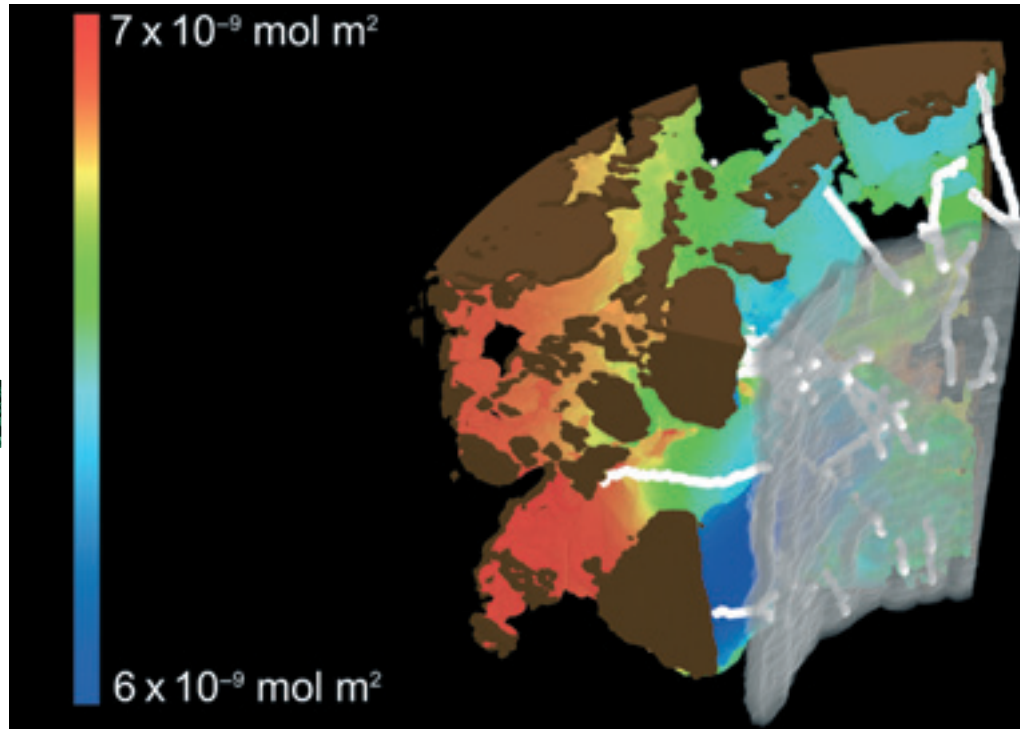
**des hétérogénéités
résultant de
l'absorption de P
dans la rhizosphère**

**Calculated surface P concentrations (C_a) on soil particles in the rhizosphere
of wheat, based on high resolution synchrotron images**

(Keyes, Daly, Gostling, Jones, Talboys, Pinzer, Boardman, Sinclair, Marchant & Roose, 2013 – New Phytol.)



rhizosphère



→ **modélisation
en 3D/4D**

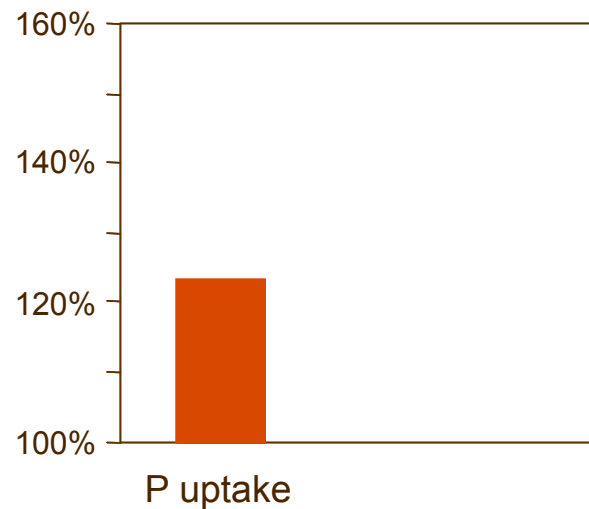
**des hétérogénéités
résultant de
l'absorption de P
dans la rhizosphère**

**Calculated surface P concentrations (C_a) on soil particles in the rhizosphere
of wheat, based on high resolution synchrotron images**

(Keyes, Daly, Gostling, Jones, Talboys, Pinzer, Boardman, Sinclair, Marchant & Roose, 2013 – New Phytol.)

→ modélisation des interactions biogéochimiques racine - sol

Root segment model



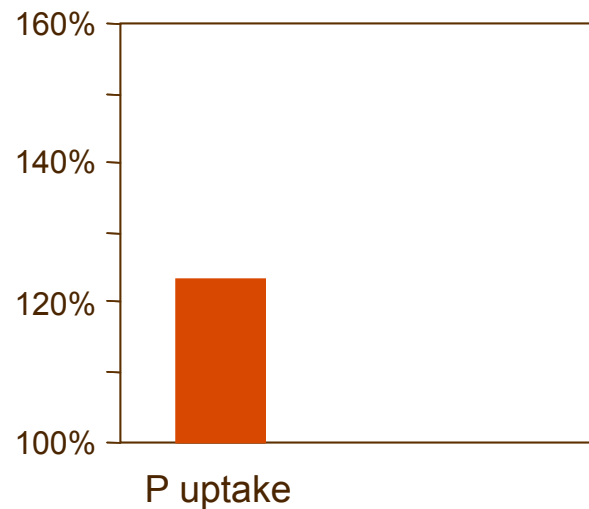
Simulated response of wheat to the exudation of a P-solubilising exudate
(% of control without exudation) according to two models
(Dunbabin, McDermott & Bengough, 2006 – *Plant Soil* 283)

→ modélisation des interactions biogéochimiques racine - sol

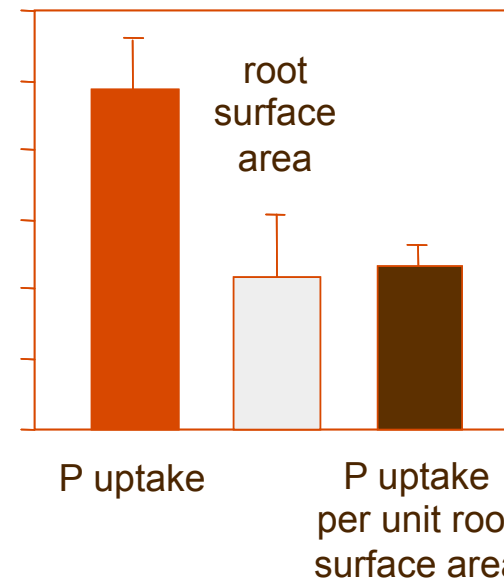
**couplée avec modèle écophysio-
logique architecture
+ croissance racinaire**



Root segment model



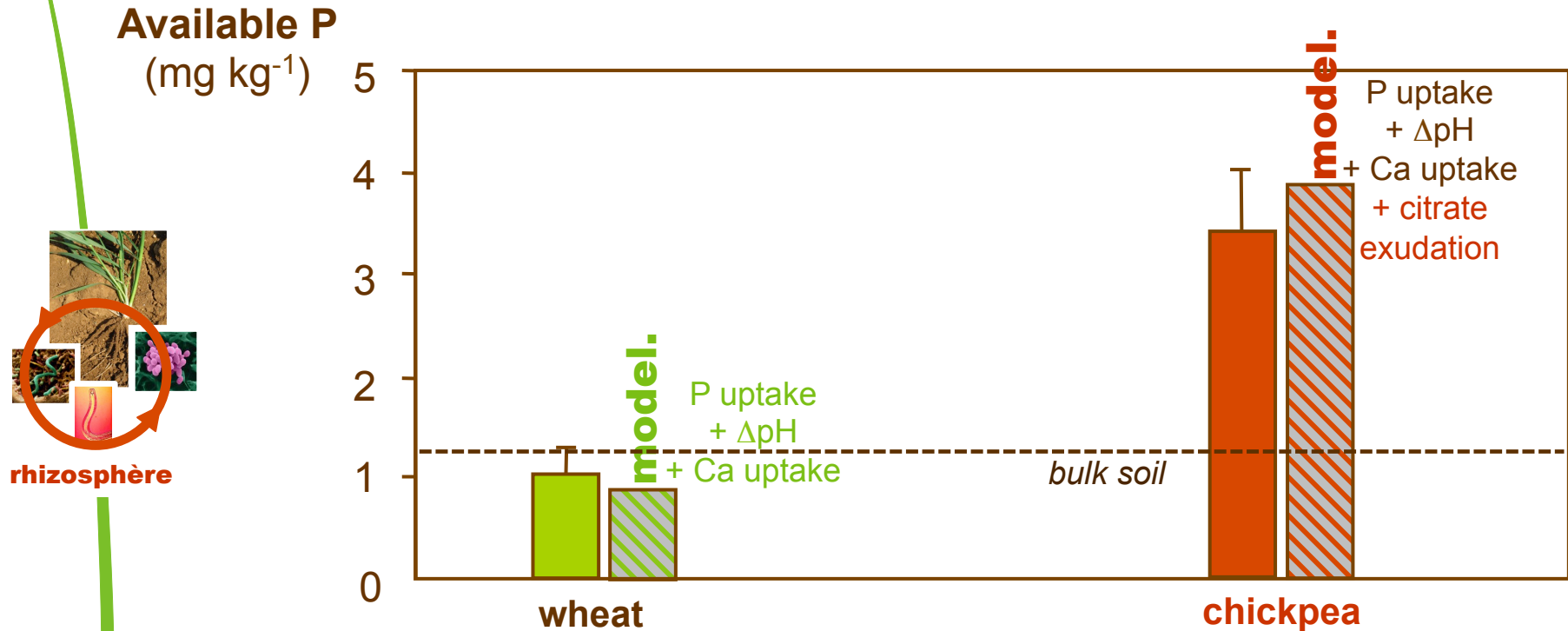
Root system model



**Simulated response of wheat to the exudation of a P-solubilising exudate
(% of control without exudation) according to two models**
(Dunbabin, McDermott & Bengough, 2006 – Plant Soil 283)

→ **modélisation des interactions biogéochimiques**
racine – sol intégrant les interactions
entre plusieurs processus d'origine biotique

(Devau, Le Cadre, Hinsinger & Gérard, 2009 – *Annals Bot.* 105)

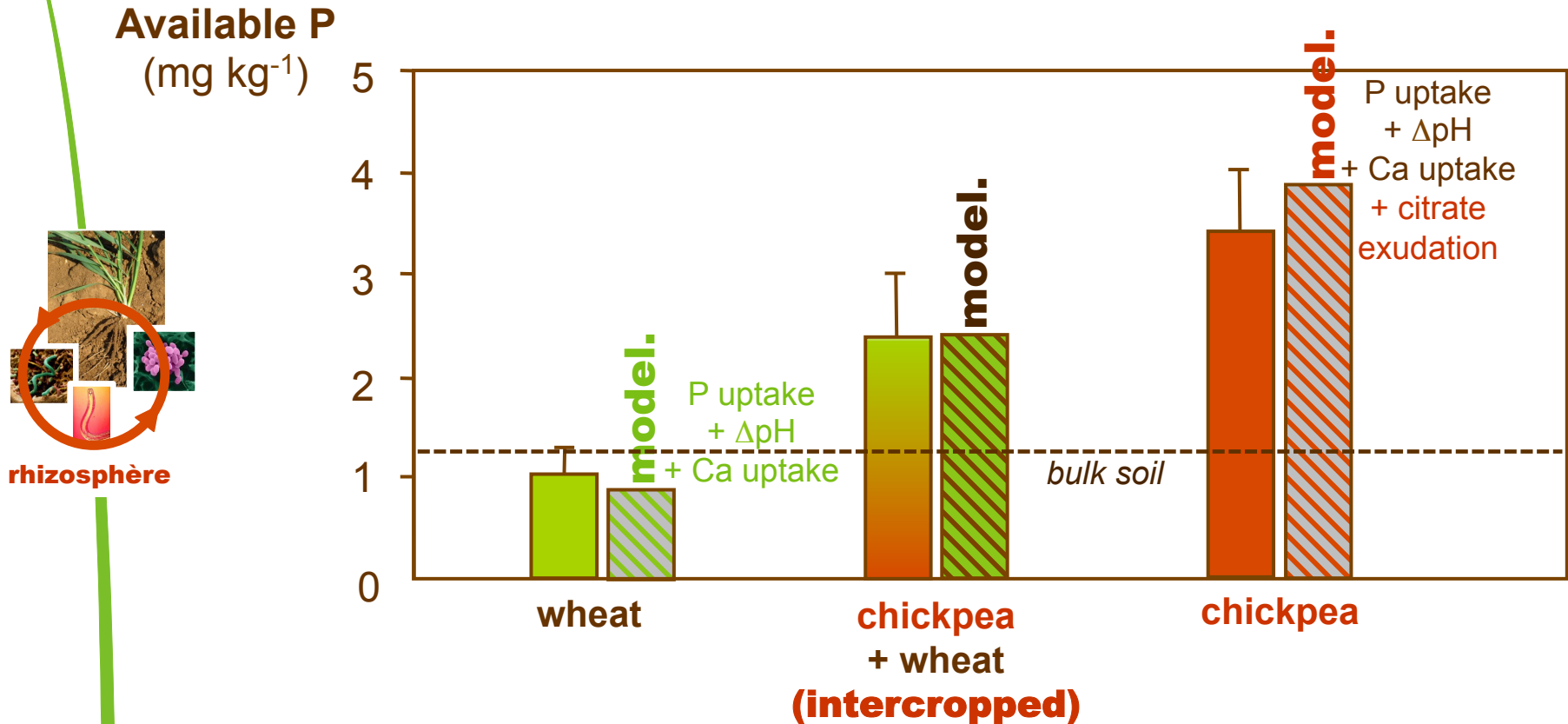


Phosphorus availability in the rhizosphere of wheat and chickpea measured or modelled with a mechanistic biogeochemical code

(Duputel, Hinsinger, Arnal, Martin & Gérard, unpubl.)

→ **modélisation des interactions biogéochimiques
 racine – sol intégrant les interactions
 entre plusieurs processus d’origine biotique**

(Devau, Le Cadre, Hinsinger & Gérard, 2009 – *Annals Bot.* 105)



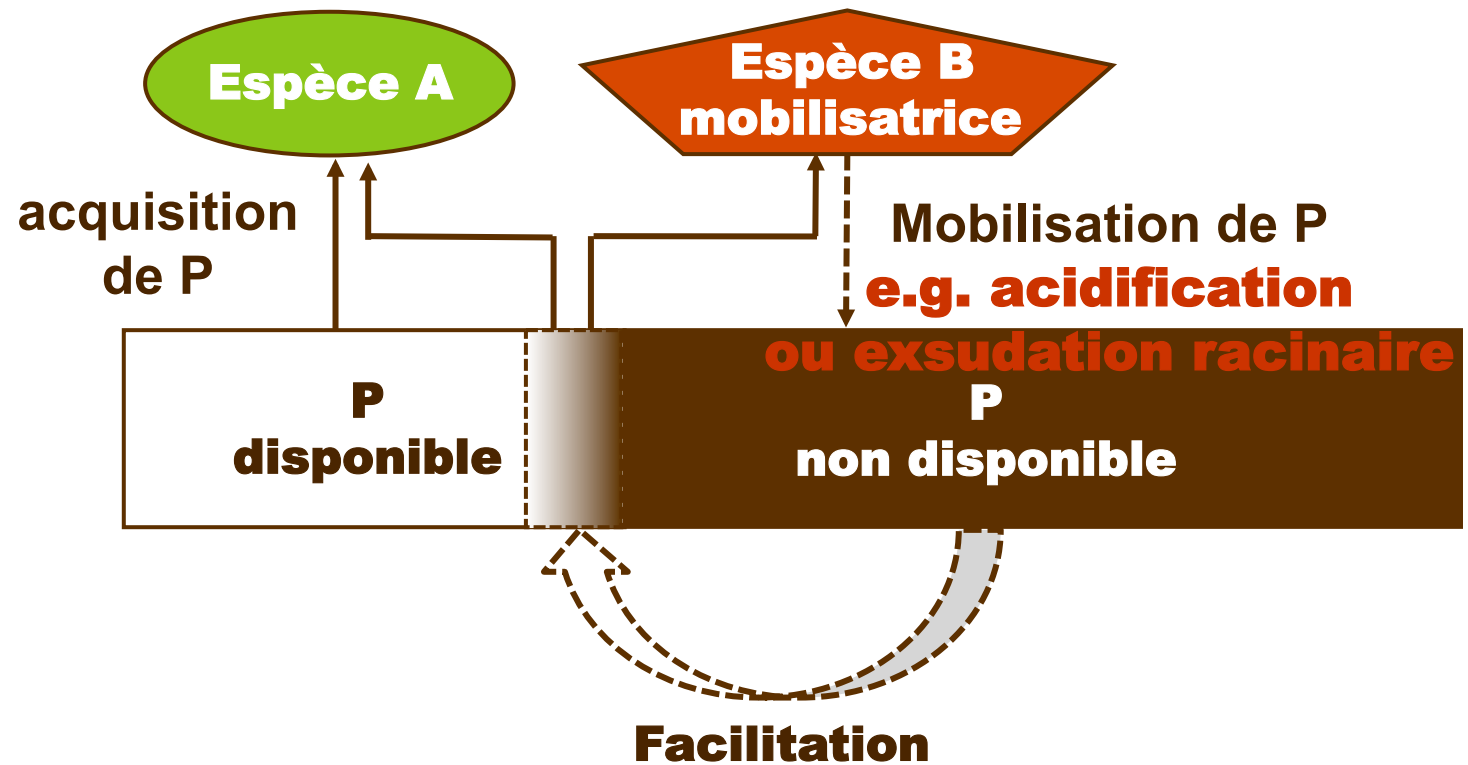
... et les interactions plante – plante en culture associée

Phosphorus availability in the rhizosphere of wheat and chickpea measured or modelled with a mechanistic biogeochemical code

(Duputel, Hinsinger, Arnal, Martin & Gérard, unpubl.)

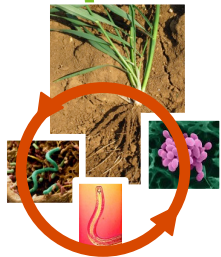
→ **modélisation conceptuelle**

interactions plante-plante facilitation



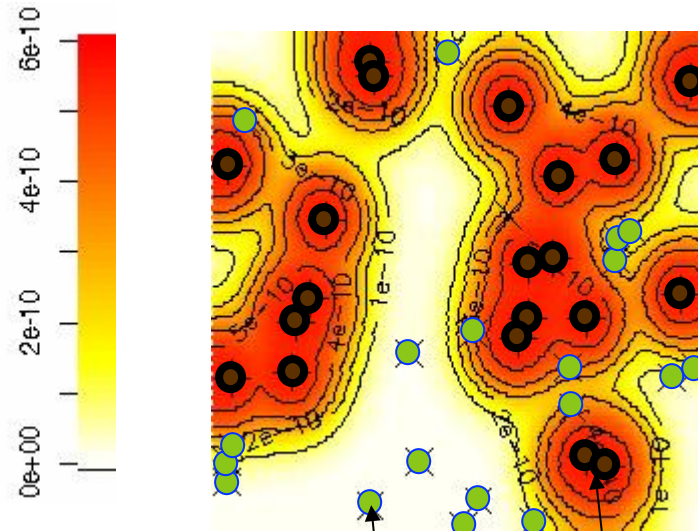
P for two – P acquisition in the rhizosphere of a cereal-legume intercrop

(Hinsinger, Betencourt, Bernard, Brauman, Plassard, Shen, Tang & Zhang 2011 – *Plant Physiol.* 156)



rhizosphere

Cartographie du citrate



→ **modélisation**
(2D plan horizontal)
des zones d'interactions
rhizosphériques
plante-plante

Racine exsudant du citrate (**espèce B**)

Racine n'exsudant pas de citrate (**espèce A**)

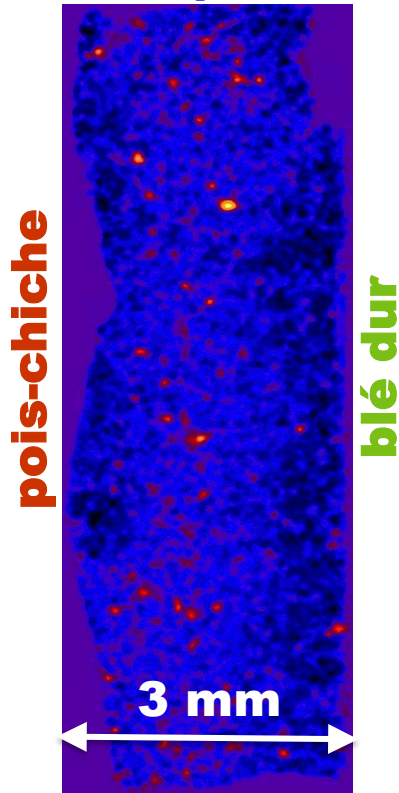
Facilitation of P acquisition as a consequence of citrate exudation
by roots of the P-mobilizing plant species
requires root proximity

(Raynaud, Jaillard & Leadley, 2008 – *American Naturalist* 171)



Min. pH: 6.8

 Max. pH 8.6

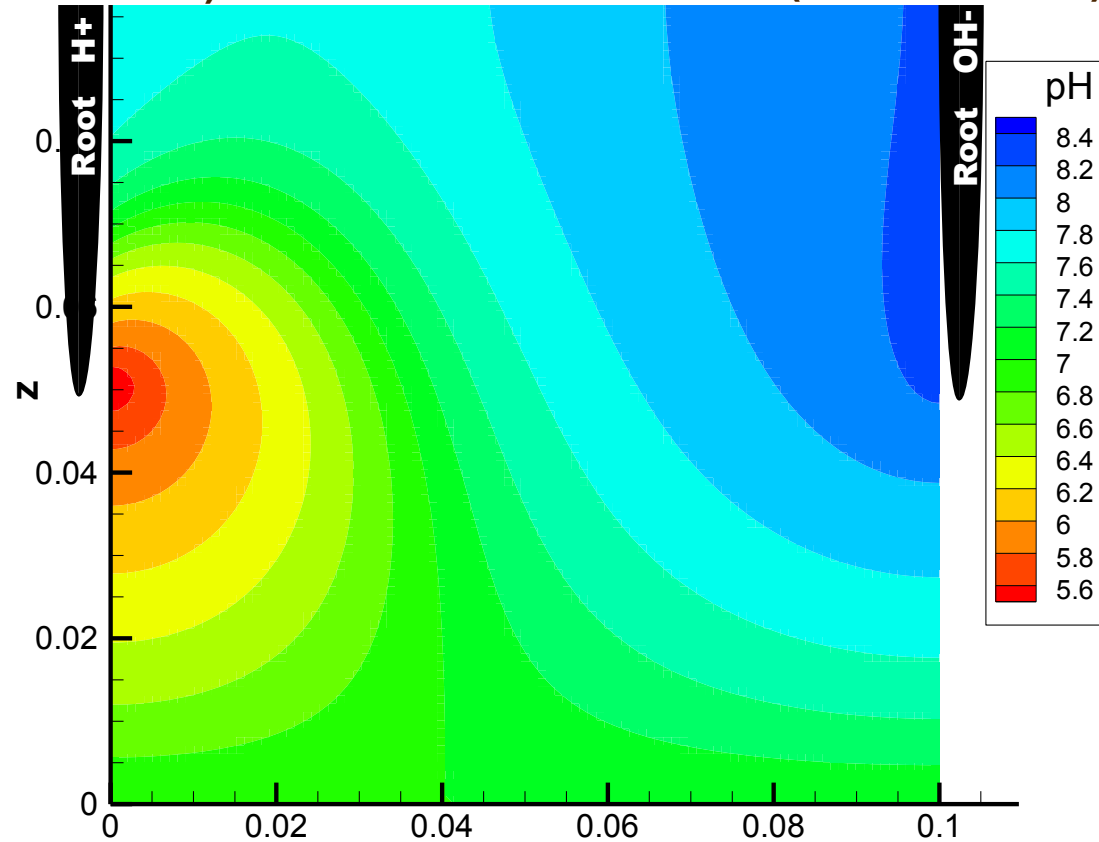


espèce B

 (acidifiante)

espèce A

 (alcalinisante)



→ **modélisation (2D plan vertical)**

de l'évolution du pH rhizosphérique

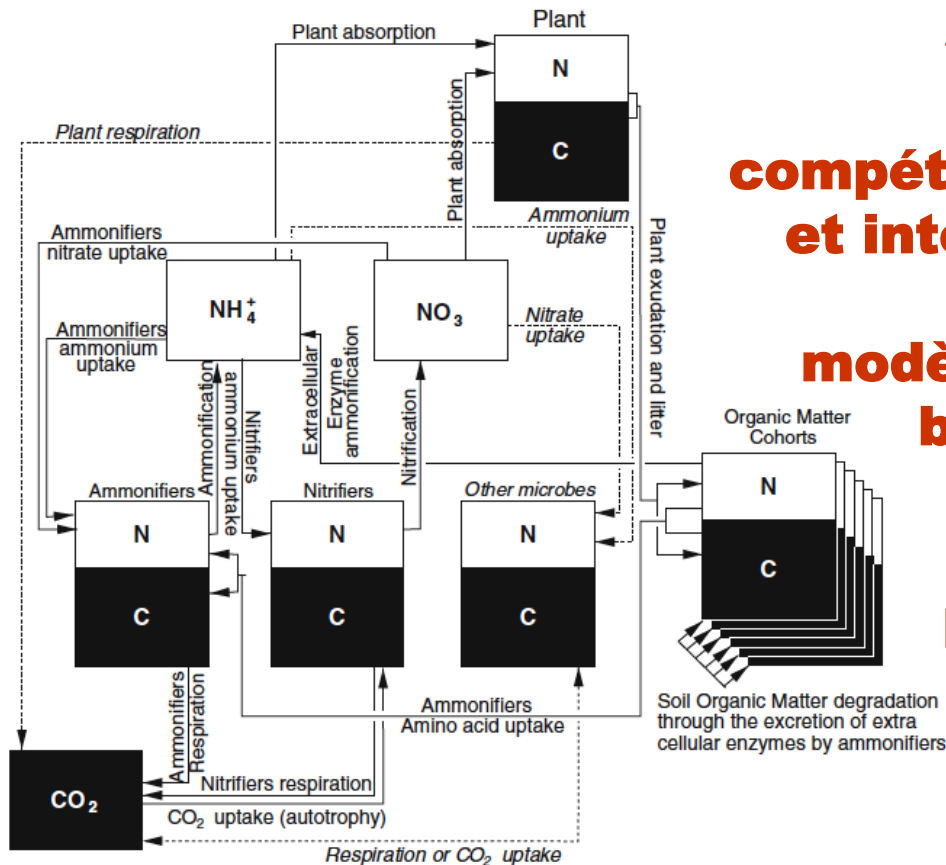
entre les racines de deux espèces

(modèle de transport réactif MIN3P)

(Gérard & Hinsinger, unpubl.)

pH monitoring between roots of chickpea and wheat

 with optodes (Schreiber, Betencourt & Hinsinger, unpubl.)



→ **modélisation de compétitions pour ressources et interactions trophiques**

modèle à compartiments biogéochimiques

y compris pools biotiques

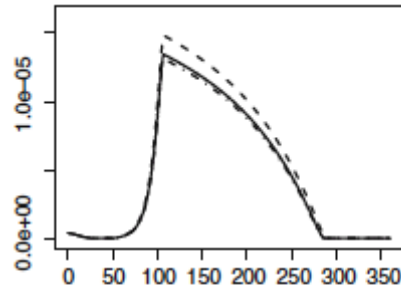
Microbial loop and fate of N in the rhizosphere, accounting for C exudation by roots and root-microorganisms-predators interactions (Raynaud, Lata & Leadley, 2006 – Plant Soil 287)



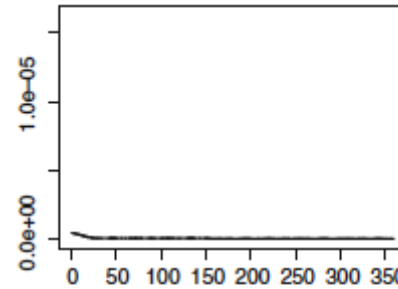
rhizosphere

Heterotrophs
(mmol N cm⁻³)

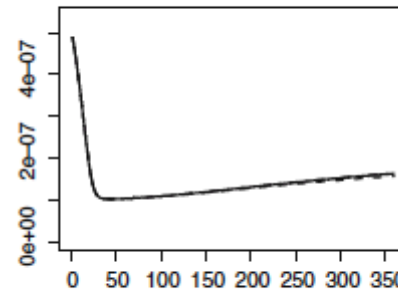
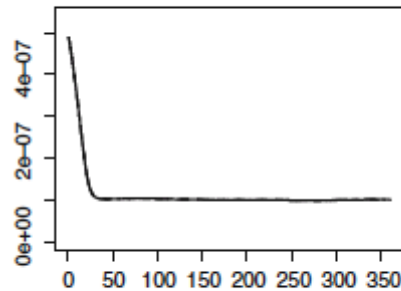
with exudation



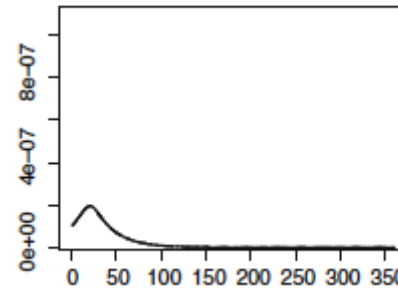
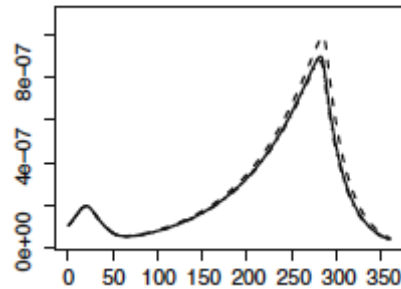
without exudation



Nitrifiers
(mmol N cm⁻³)

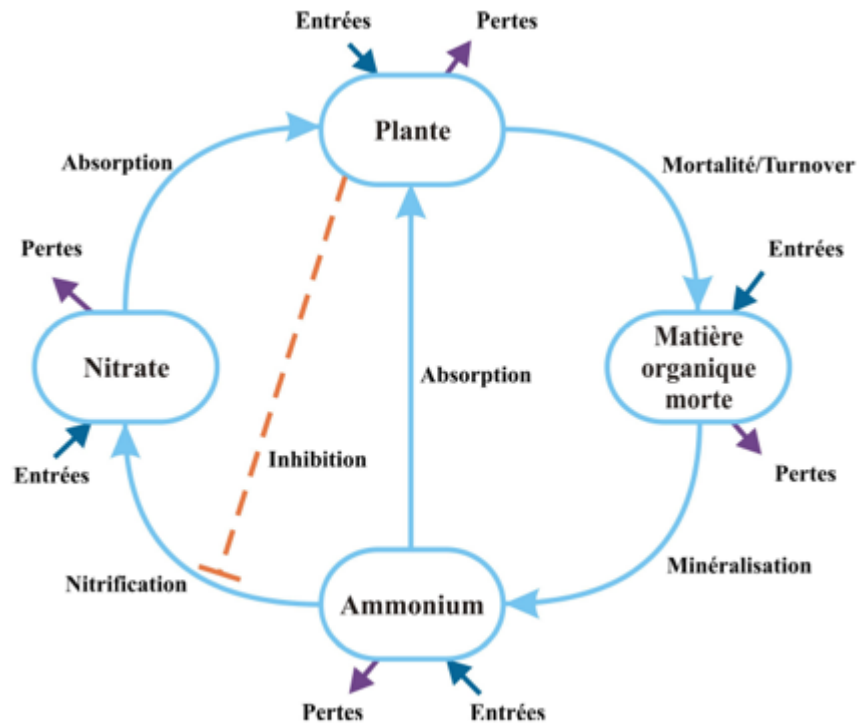


Predators
(mmol N cm⁻³)



Time (days)

Microbial loop and fate of N in the rhizosphere,
accounting for C exudation by roots
and root-microorganisms-predators interactions
(Raynaud, Lata & Leadley, 2006 – Plant Soil 287)



→ **modélisation
des
interactions
non trophiques
plante-microorganismes**

**modèle à compartiments
biogéochimiques**

**y compris
pools biotiques**

N biogeochemical cycling in Lamto savanna (Ivory Coast)

incl. the effect of nitrification inhibition

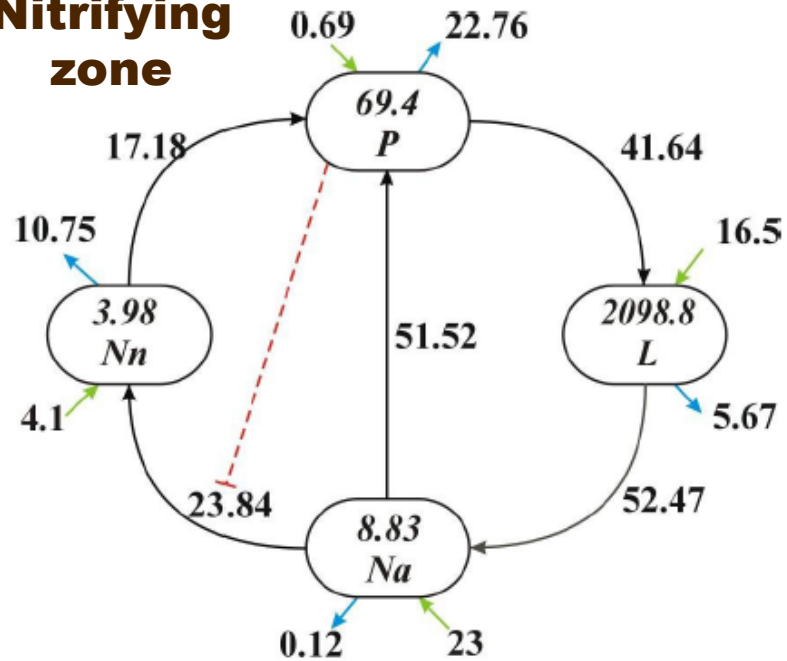
as induced by a grass (*Hyparrhenia diplandra*)

(Boudscoq, Lata, Mathieu, Abbadie & Barot, 2009 – *Funct. Ecol.* 23)

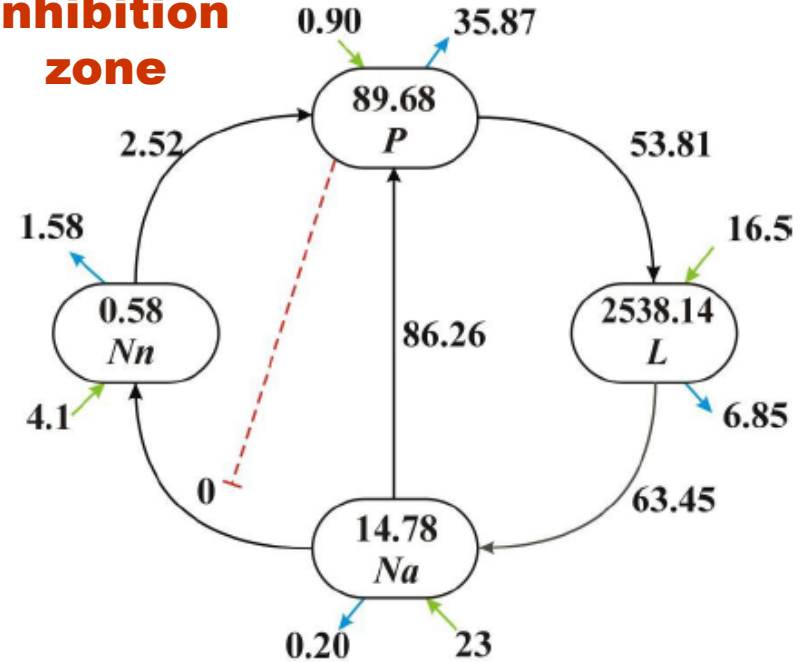
Stocks (kg N ha⁻¹)

Flux (kg N ha⁻¹ yr⁻¹)

Nitrifying zone



Inhibition zone



N biogeochemical cycling in Lamto savanna (Ivory Coast)
showing a positive effect of nitrification inhibition on N conservation
in the ecosystem as induced by a grass (*Hyparrhenia diplandra*)
(Boudscoq, Lata, Mathieu, Abbadie & Barot, 2009 – Funct. Ecol. 23)

Représentations – Modélisation des interactions biotiques dans les sols

→ **interactions trophiques... mais réseaux méconnus**

- + prédation des microbes par faune
- – – herbivorie

→ **interactions de compétition / facilitation**

- +++ compétition microbes-microbes, microbes-plantes
- + compétition plantes-plantes
- – – facilitation

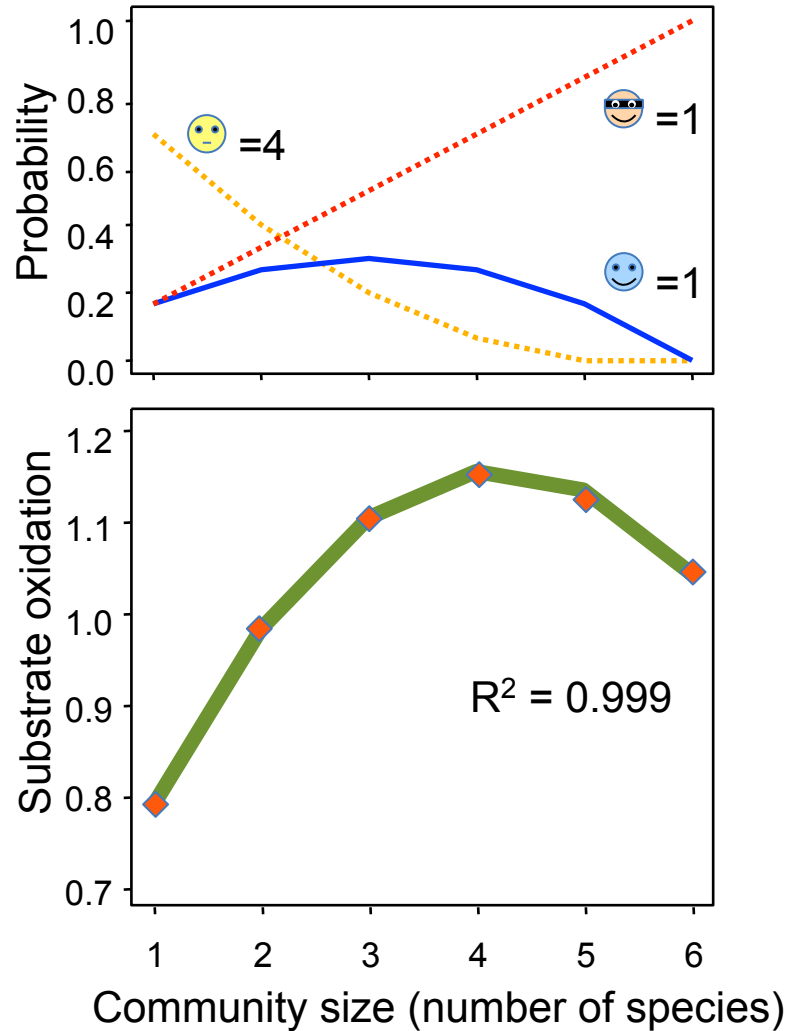
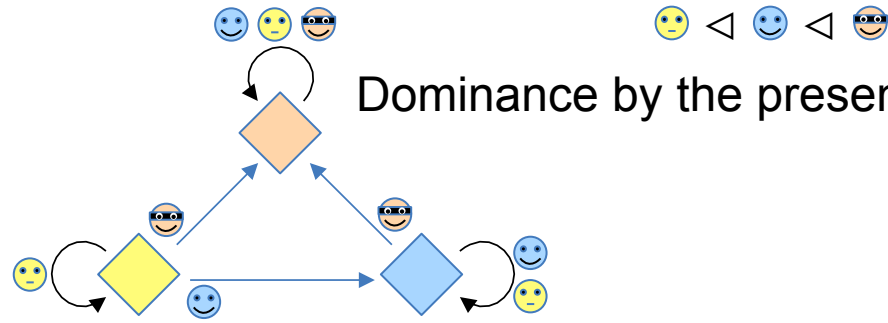
→ **interactions par signalisation**

- – – communication entre partenaires symbiotiques
- – – communication microbes-microbes, microbes-plantes, etc...

→ **interactions via l'environnement – ingénieurs du sol**

- +++ modification chimique de la rhizosphère par les plantes
- + modification physique de la drilosphère par les vers
- – – modification des micro-habitats microbiens

Dominance rule



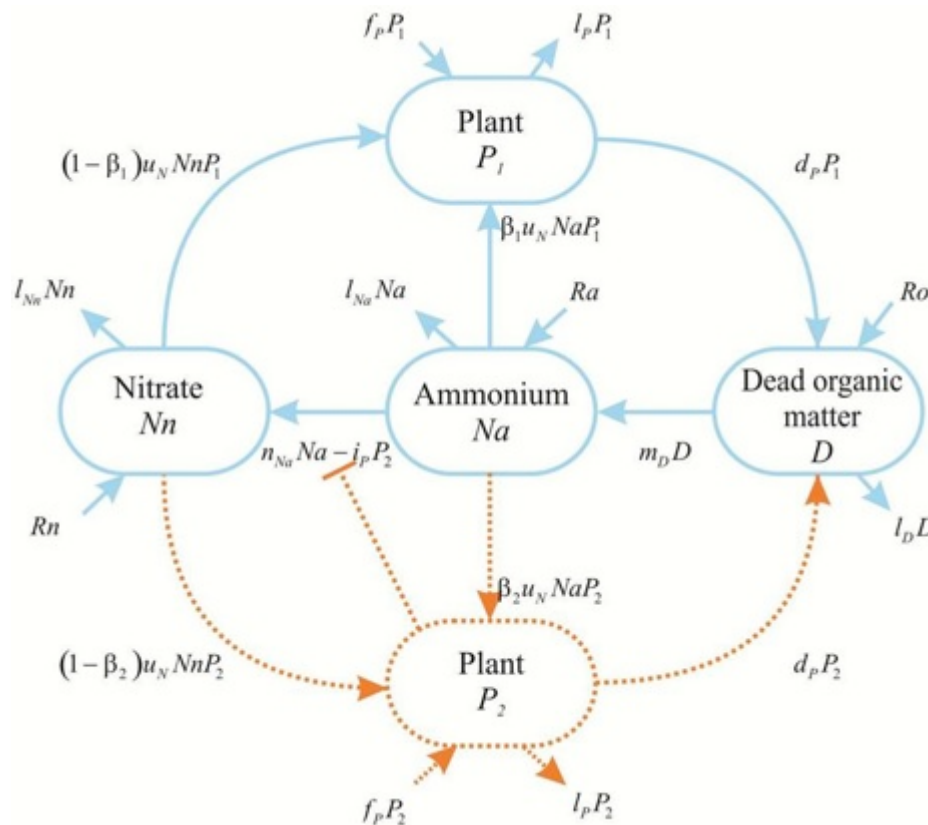
→ **modélisation par approche probabiliste**

relation diversité-fonction dans une communauté microbienne

Community assembly effects shape the biodiversity – ecosystem functioning relationships
(Jaillard, Rapaport, Harmand, Brauman & Nunan, 2014 – *Funct. Ecol.*)

→ **modélisation**

**interactions
plantes-plantes
compétition
+ séparation de niche**



Interactions plante-plante et prise en compte des préférences ammonium/nitrate et leur impact sur le recyclage de N du sol dans les communautés végétales (Boudsocq, Niboyet, Lata, Raynaud, Loeuille, Mathieu, Blouin, Abbadie & Barot, 2012 – Am. Nat. 180)

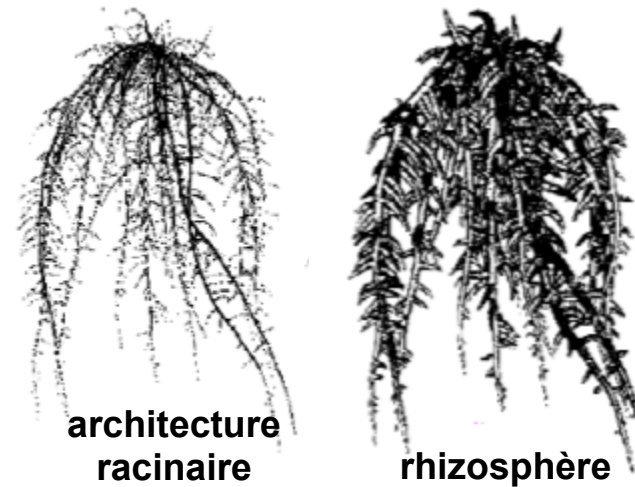
« rhizosphere probably represents
the most dynamic habitat on Earth;
and certainly is
the most important zone in terms of
defining the quality and quantity of
the Human terrestrial food resource. »



(Hinsinger et al. 2009 – Plant Soil 321)



rhizosphère

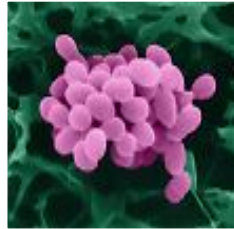


Modèles numériques en 3D
(Ge, Rubio & Lynch, 2000 – Plant Soil 218)

(Pagès, 2011 – Plant Cell Environ. 34)

Les sols : lieu de multiples fonctions assurées par des communautés complexes

**Microorganismes
 symbiotiques ou libres**



**ingénieurs
 (bio)chimistes**

Cycle N, P, S....
 Cycle C : décomposition, humification
 Structure du sol
 Croissance des plantes
 Détoxification, bioremédiation

Macrofaune (et racines)

Bioturbation,
 Décomposition MO
 Stimulation des microorganismes
 Modification cycles C et nutriments



ingénieurs du sol

Microfaune



Régulation (prédation)
 des microorganismes
**prédateurs
 microbiens**

Méso- et macrofaune



**ingénieurs
 des litières**

Décomposition MO



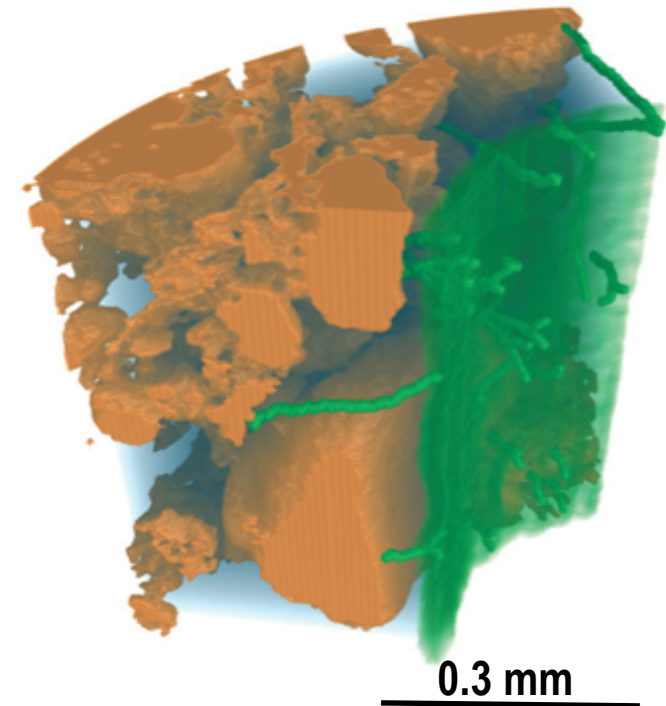
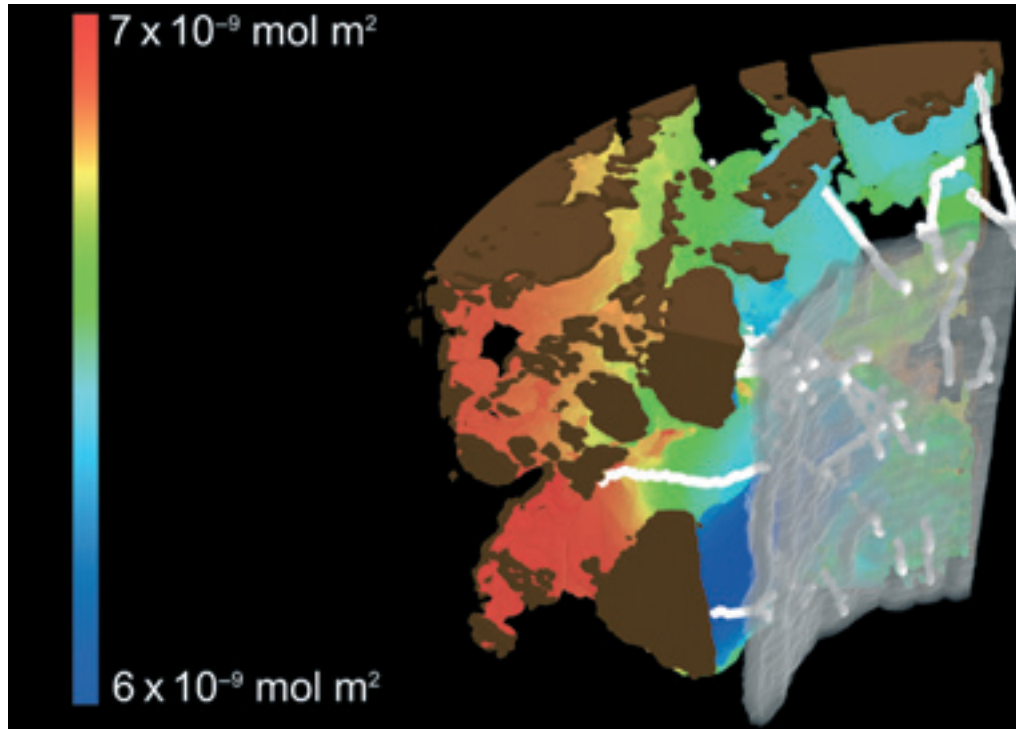
prédateurs d'invertébrés

Organismes nuisibles



bio-agresseurs

→ **root hairs may contribute 50% of the actual uptake**



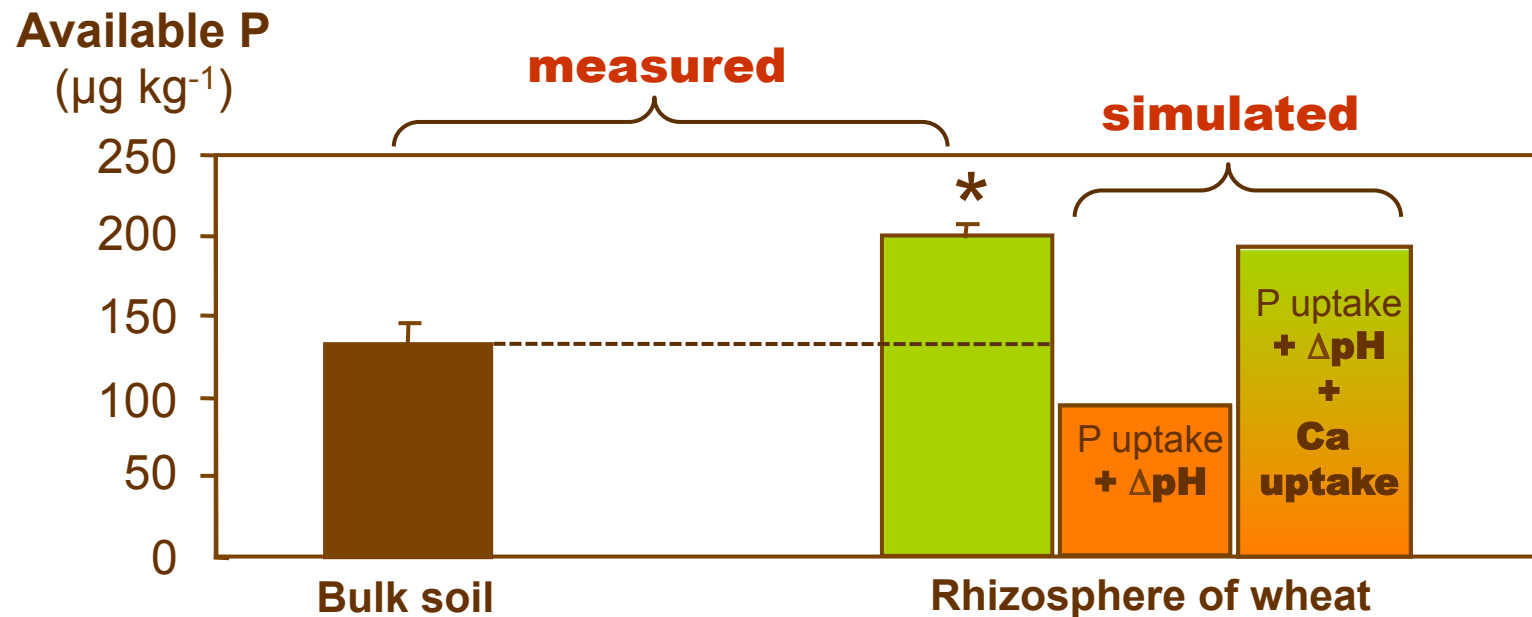
Calculated surface P concentrations on soil particles after 10h uptake by root or root hairs of wheat, based on their distribution obtained by high resolution synchrotron images

(Keyes, Daly, Gostling, Jones, Talboys, Pinzer, Boardman, Sinclair, Marchant & Roose, 2013 – *New Phytol.*)

→ modélisation des interactions biogéochimiques racine - sol

prenant en compte les interactions entre plusieurs processus d'origine biotique

(Devau, Le Cadre, Hinsinger & Gérard, 2009 – *Annals Bot.* 105)



Increase of P availability in the rhizosphere of wheat was adequately predicted **only when accounting for pH change and Ca uptake on top of P uptake**

(Devau, Hinsinger, Le Cadre & Gérard, 2011 – *Plant Soil* 348)