

Résistance aux stress nutritifs (exemple du phosphore)

interactions rhizosphériques et symbiose mycorhizienne

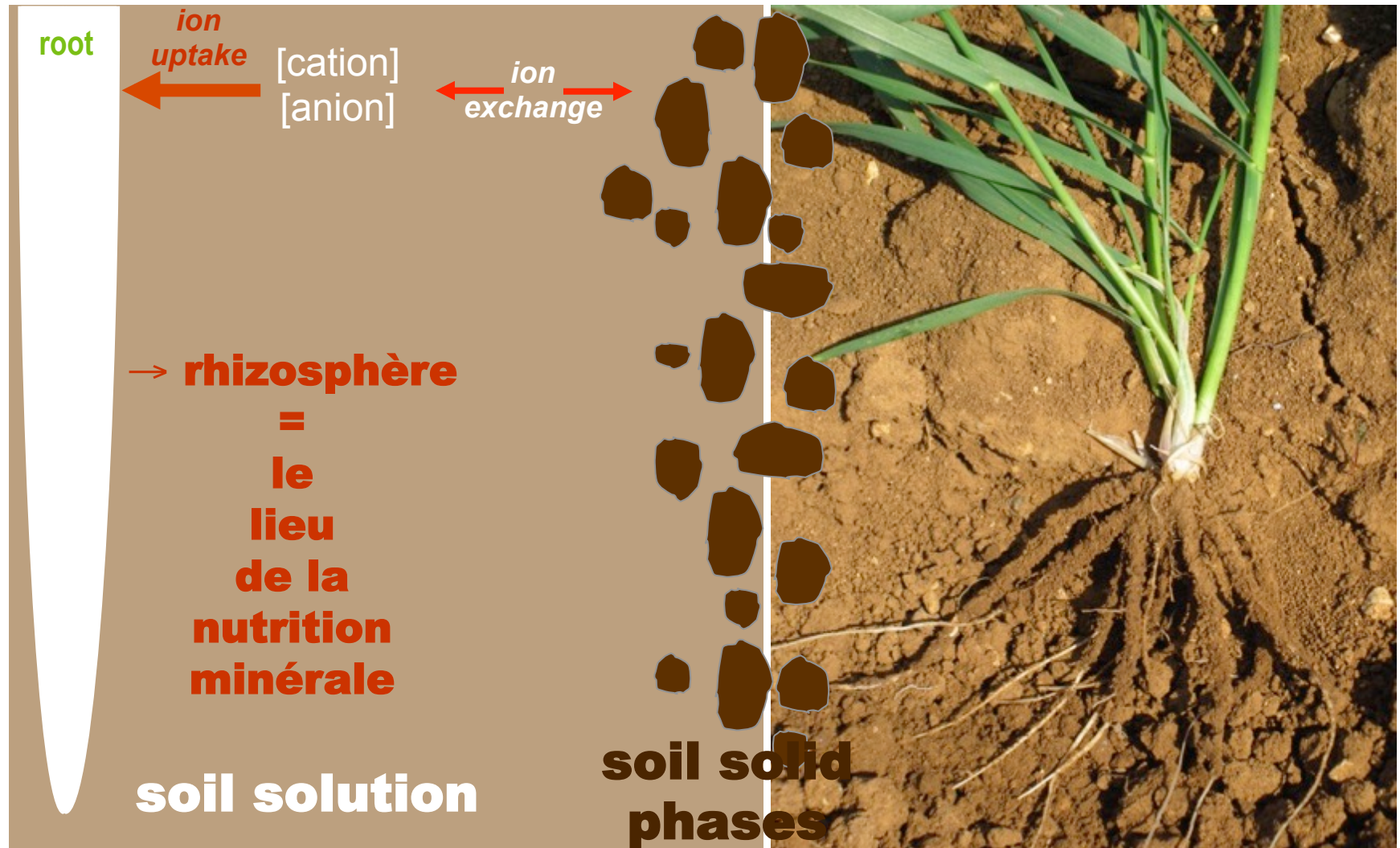
Philippe Hinsinger et al.





La rhizosphère : hotspot des processus biogéochimiques du sol

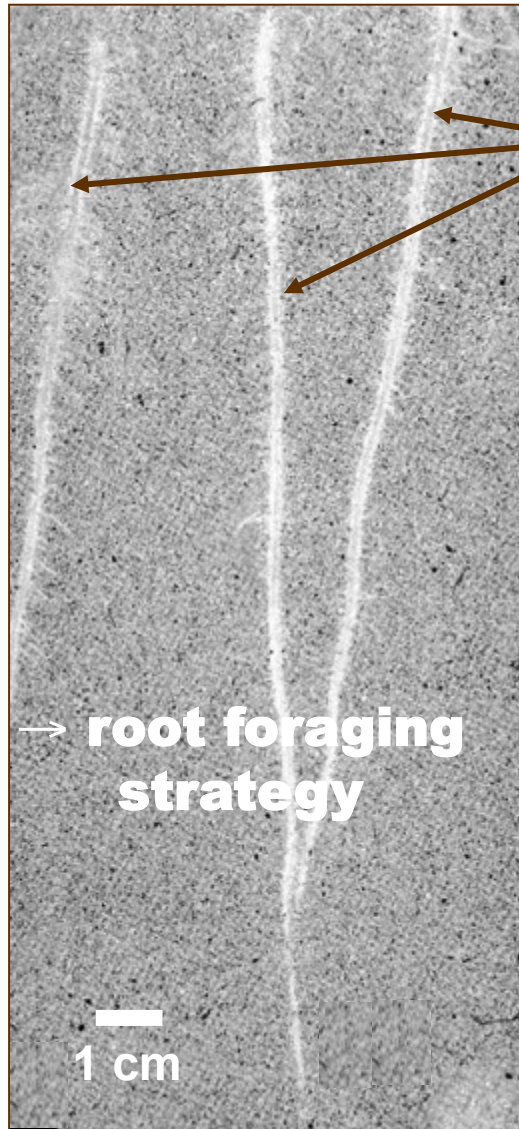
(Hinsinger, Bengough, Vetterlein & Young, 2009 – Plant Soil 321)



La rhizosphère : hotspot des processus biogéochimiques du sol

(Hinsinger, Bengough, Vetterlein & Young, 2009 – Plant Soil 321

Hinsinger, Gobran, Gregory & Wenzel, 2005 – New Phytol. 195)



zones d'appauvrissement → **rhizosphère**
=
faible volume
de sol pour
des nutriments
peu mobiles
comme P

→ **root foraging strategy**

**Autoradiographie de racines de maïs dans un sol
 marqué avec du P radioactif (^{33}P) (Jungk, 1996)**

voir aussi Lewis & Quirk (1967), Bhat & Nye (1973),
 Hendriks et al. (1981), Kraus et al. (1987), Hübel & Beck (1993)

→ « **small causes with big effects** »

(Wissuwa, 2003 – Plant Physiol. 133)



Parameter	Nipponbare P-inefficient	NIL-Pup1 P-efficient	%increase
Simulated P uptake ($\mu\text{g P}$)	1298	3998	+208
Specific root surface area – root foraging trait ($\text{cm}^2 \text{mg}^{-1} \text{DM root}$)	1.05	1.28	+22

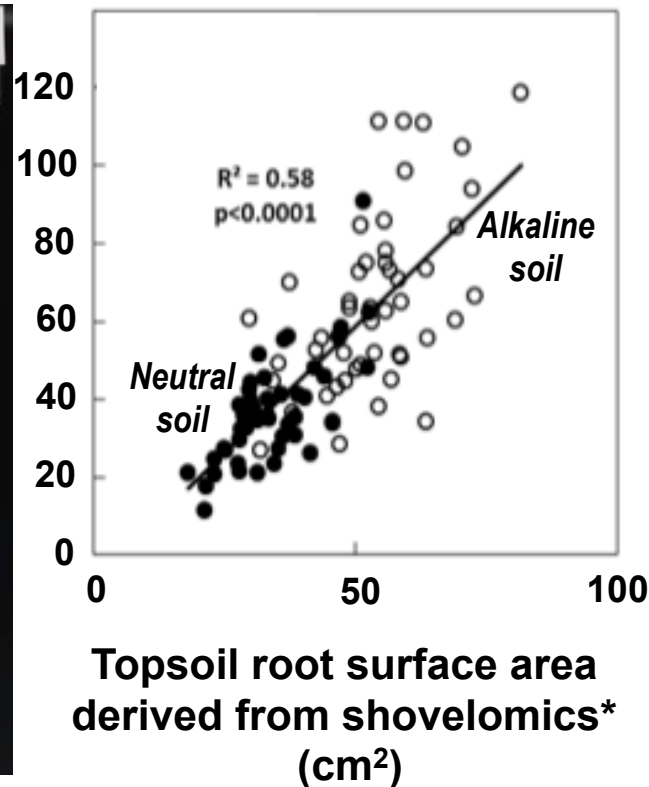
Change in input parameter required to simulate the 3-fold increase in P acquisition in P-efficient vs P-inefficient lines of rice using the model P-LIM-GROW

(Wissuwa, 2005 – Plant Soil 269)

- **PSTOL1, absent in modern, P-inefficient genotypes,**
= gene coding for a protein kinase acting as an enhancer of early root growth
→ *worth exploring traditional germplasm where this gene was found*

(Gamuyao et al., 2012 – Nature 535)

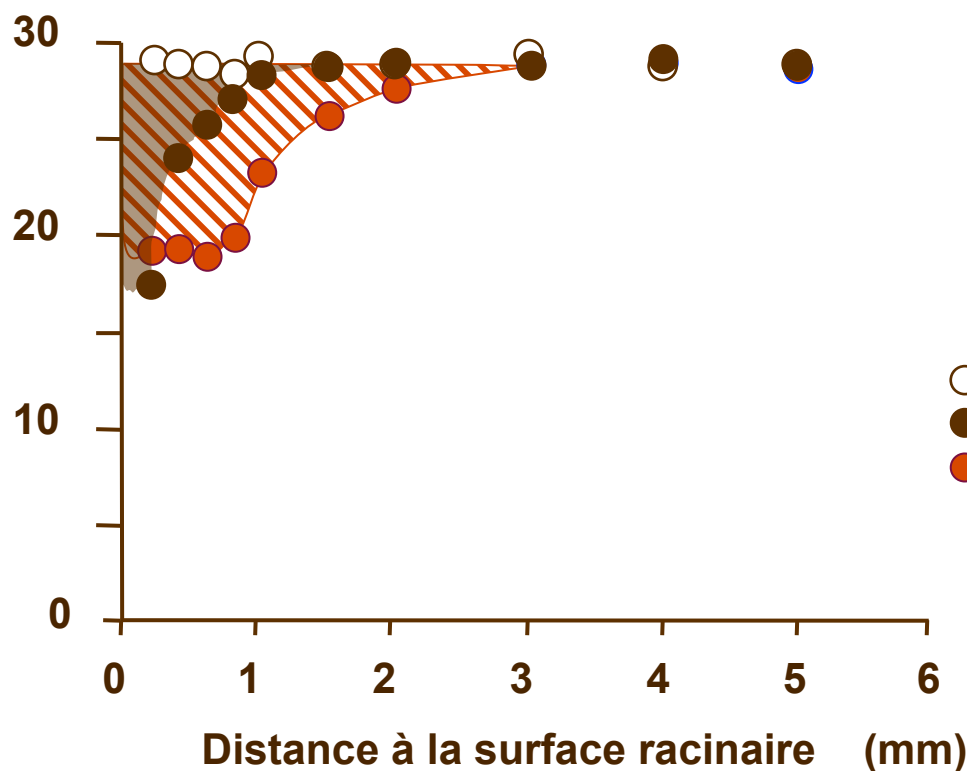
P acquisition (mg plant⁻¹)



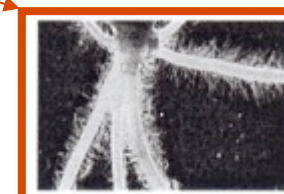
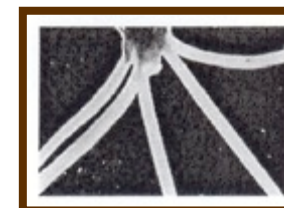
→ **root foraging
strategy**

La surface développée par les racines est un trait pertinent pour l'acquisition de P
en sols pauvres en P (essai d'Auzeville non fertilisé depuis 1968)
gamme de 23 géotypes de maïs – stade floraison – EURoot 2013
(Erel, Bérard, Capowiez, Doussan, Arnal, Souche, Gavaland, Fritz, Visser, Salvi, Le Marié, Hund, Hinsinger, 2016
– to be submitted to Plant Soil)

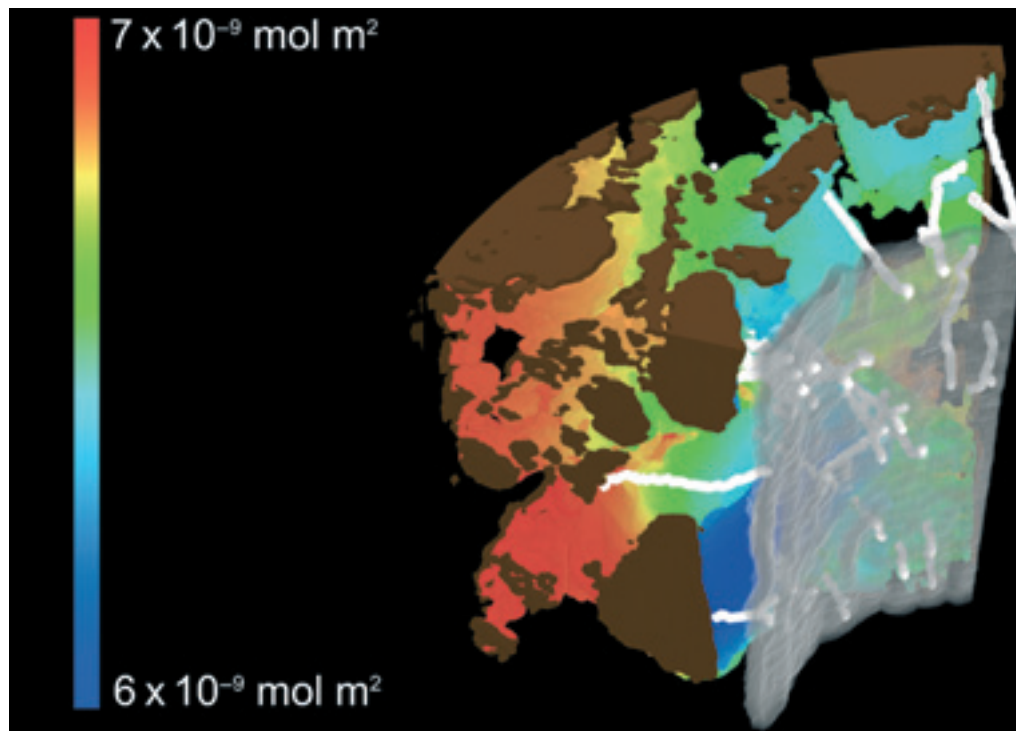
P du sol
(mg kg⁻¹)



→ **contribution
significative
des poils racinaires
à l'acquisition de P**



**Appauvrissement en phosphore dans la rhizosphère de deux génotypes d'orge
avec et sans poils racinaires** (*Gahoonia, Nielsen, Joshi, Jahoor, 2001 – Plant Soil 235*)



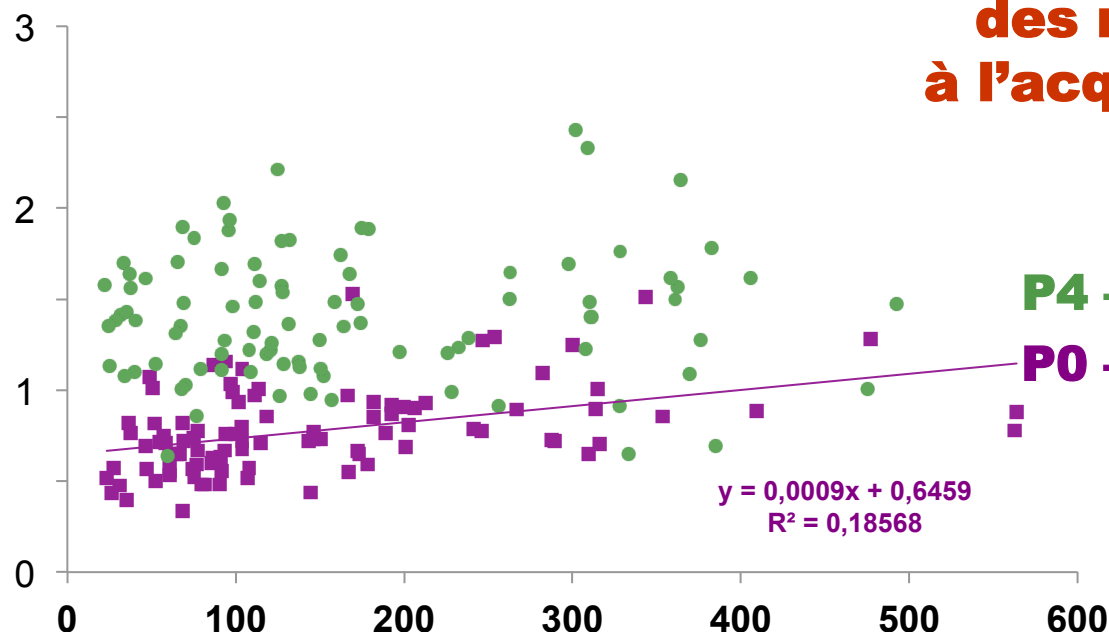
→ **modélisation**
permettant d'estimer
la contribution
des poils racinaires
à l'acquisition de P

≈ 50%

Concentrations en P calculées à la surface des agrégats de sol dans la rhizosphère du blé (images 3D haute résolution obtenues par synchrotron)

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

Biomasse (g plante⁻¹)



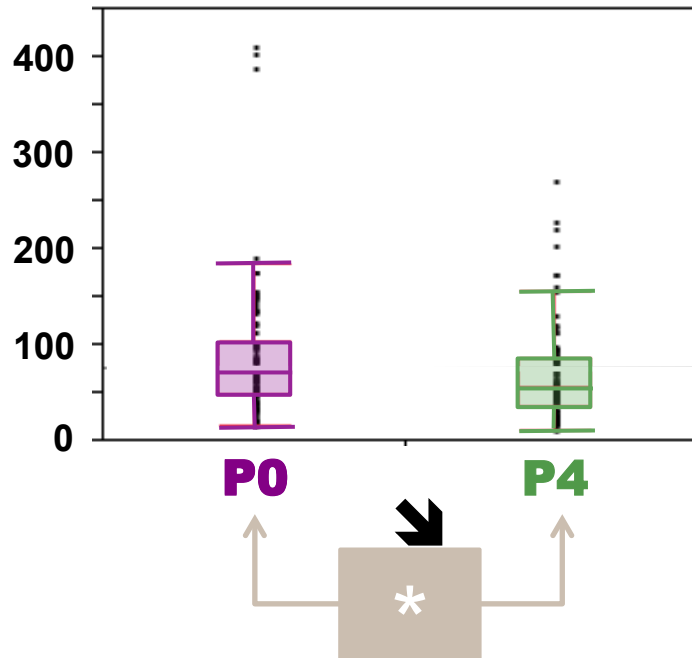
Colonisation des racines par 3 champignons mycorhiziens à arbuscules (quantification / qPCR)

Faible contribution des mycorhizes à la performance de céréales au champ en sol pauvre en P (P0 essai d'Auzeville non fertilisé depuis 1968) gamme de 23 géotypes de maïs – stade 6-8 feuilles – EURoot 2013

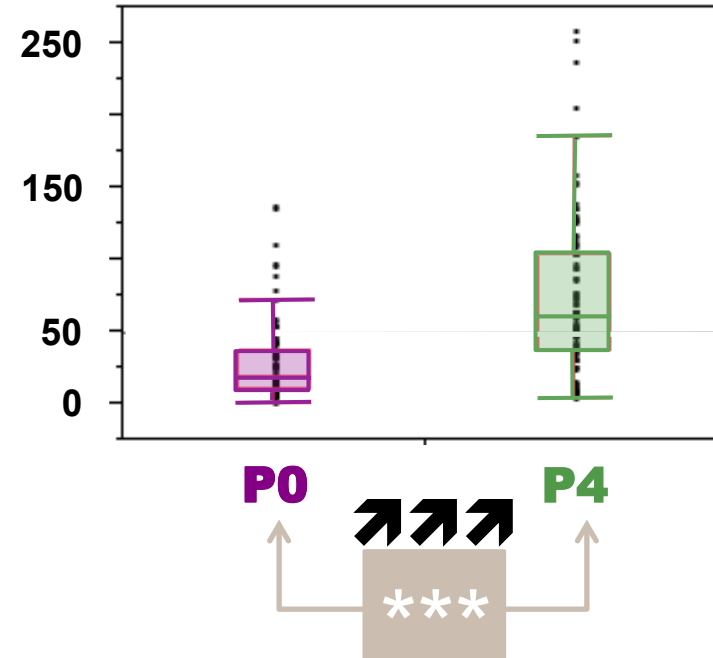
(Campos, Erel, Bach, Bérard, Capowiez, Doussan, Arnal, Souche, Gavaland, Salvi, San Segundo, Hinsinger, 2016 – to be submitted)

Colonisation des racines par deux espèces mycorhiziennes (quantification qPCR)

Rhizofagus irregularis (G. intraradices)



Funneliformis mosseae (G. mosseae)



→ **une diversité de mycorhizes à explorer ...
(effet génotype plante et espèce fongique)**

Le statut mycorhizien de céréales au champ n'est pas toujours impacté par la fertilisation phosphatée (essai d'Auzeville non fertilisé depuis 1968)
gamme de 23 génotypes de maïs – stade 6-8 feuilles – EURoot 2013

(Campos, Erel, Bach, Bérard, Capowiez, Doussan, Arnal, Souche, Gavaland, Salvi, San Segundo, Hinsinger, 2016
– to be submitted)

→ « **small causes with big effects** »

(Wissuwa, 2003 – Plant Physiol. 133)

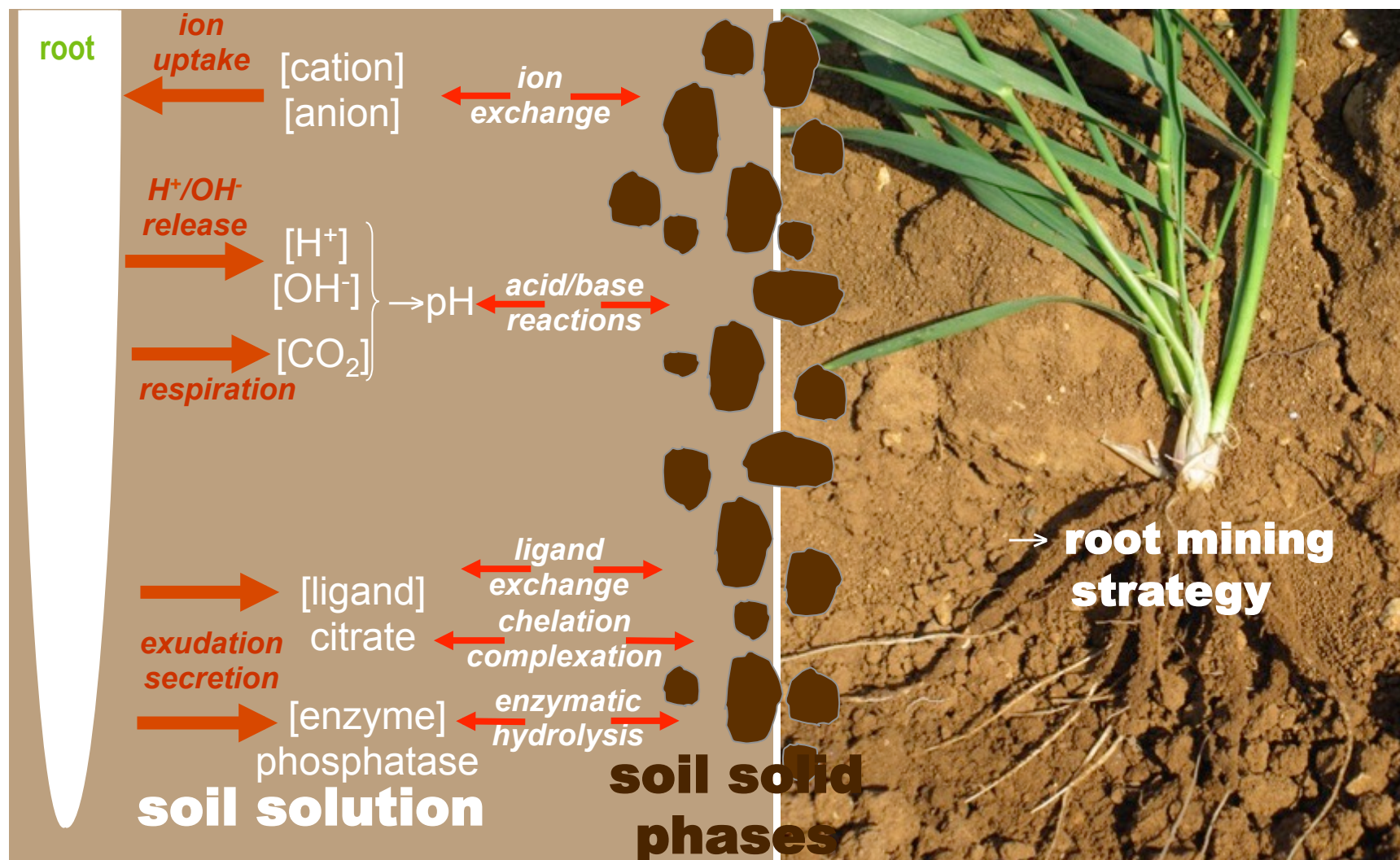


Parameter	Nipponbare P-inefficient	NIL-Pup1 P-efficient	%increase
Simulated P uptake ($\mu\text{g P}$)	1298	3998	+208
External P uptake efficiency – rhizosphere mining ($\mu\text{g P cm}^{-2}$ root surface area)	0.14	0.19	+33
Specific root surface area – root foraging trait ($\text{cm}^2 \text{ mg}^{-1}$ DM root)	1.05	1.28	+22

Change in input parameter required to simulate the 3-fold increase in P acquisition in P-efficient vs P-inefficient lines of rice using the model P-LIM-GROW

(Wissuwa, 2005 – Plant Soil 269)

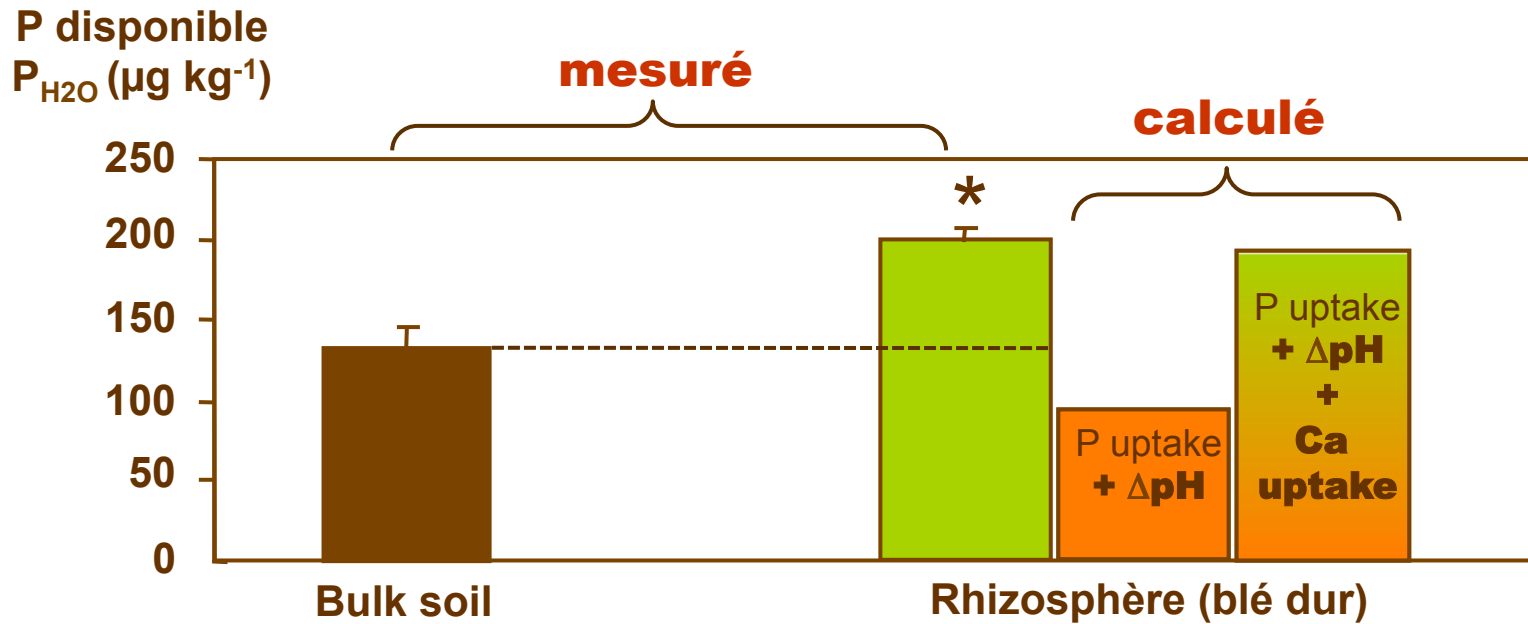
→ **root mining strategy : rhizosphere-related traits**



Processus biogéochimiques déterminant l'acquisition de P dans la rhizosphère

(Hinsinger, Bengough, Vetterlein & Young, 2009 – Plant Soil 321

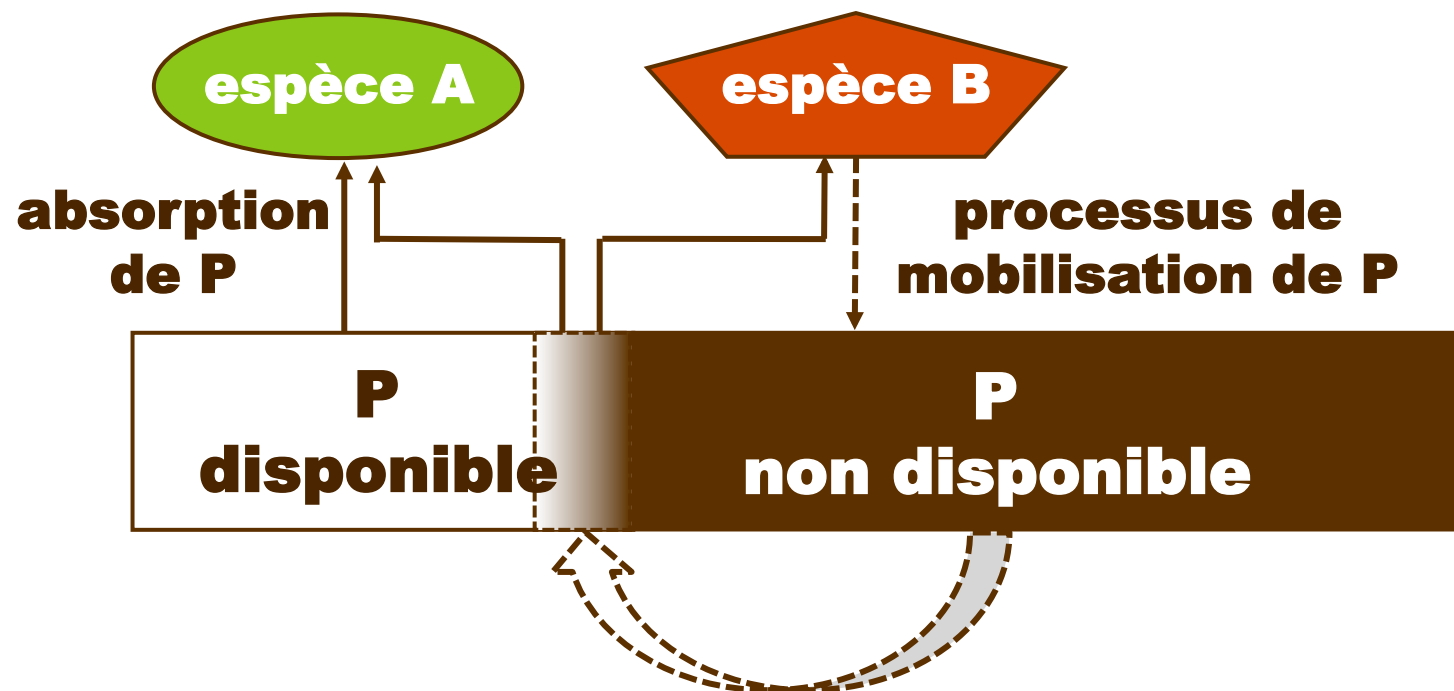
Hinsinger, Gobran, Gregory & Wenzel, 2005 – New Phytol. 195)



Augmentation de la disponibilité en P dans la rhizosphère du blé dur calculée par un modèle géochimique mécaniste* **prenant en compte les modifications de pH et l'absorption de Ca en plus de l'absorption de P** en sol pauvre en P (P0 essai d'Auzeville non fertilisé depuis 1968)

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

* modèle d'adsorption de P : Devau, Le Cadre, Hinsinger & Gérard, 2009 – *Annals Bot.* 105

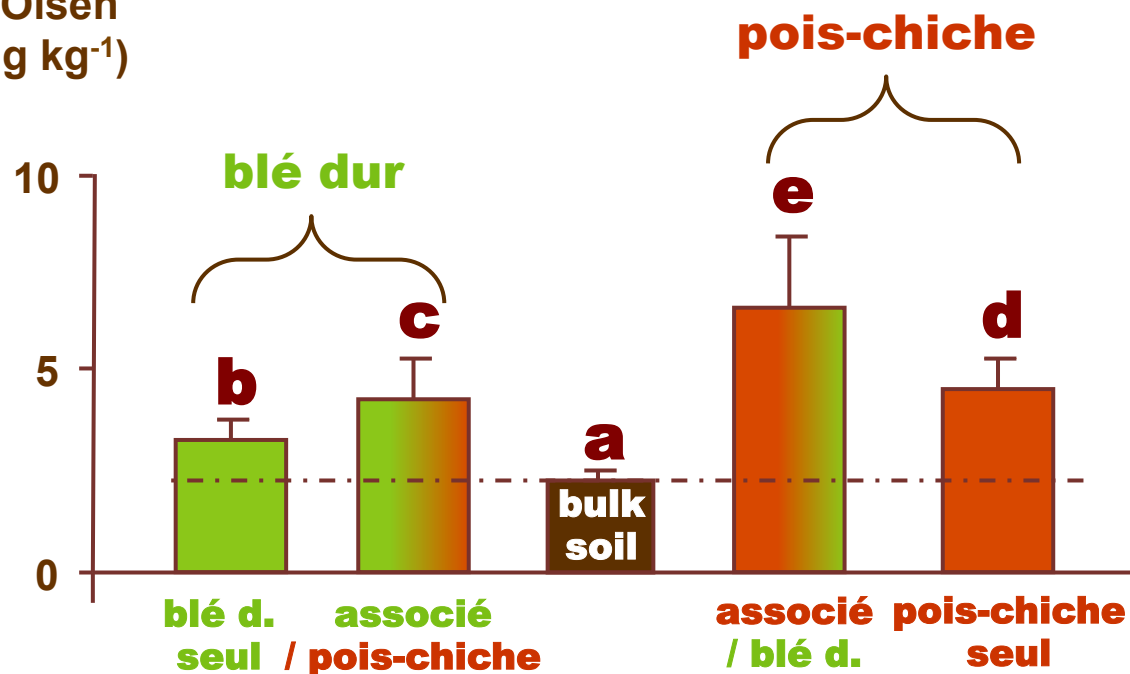


→ **facilitation inter-spécifique**

P for two – Processus rhizosphériques impliquées dans la facilitation de l'acquisition de P en culture associée

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

P Olsen
(mg kg⁻¹)



→ **facilitation céréale/légumineuse**

Augmentation de la disponibilité de P dans la rhizosphère **du pois-chiche**,
encore plus forte lorsqu'il est associé au blé dur
dans un sol pauvre en P (P0 essai d'Auzeville non fertilisé depuis 1968)

(Betencourt, Duputel, Colomb, Desclaux & Hinsinger 2012 – Soil Biol. Biochem. 46)

→ **acidification de la rhizosphère et facilitation céréale/légumineuse**

pois-chiche

blé dur

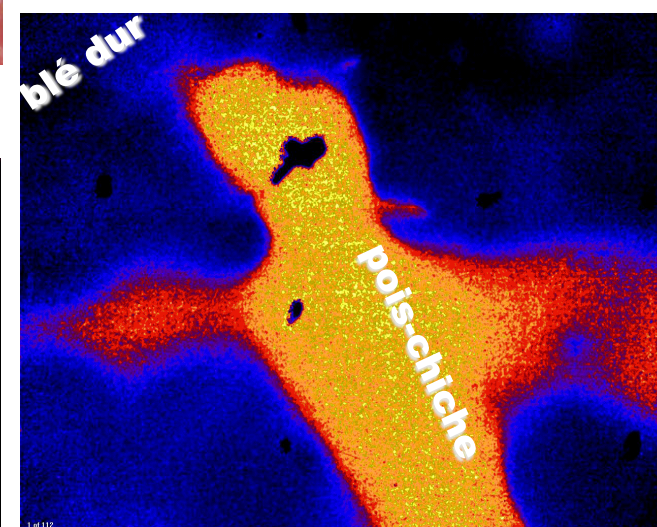
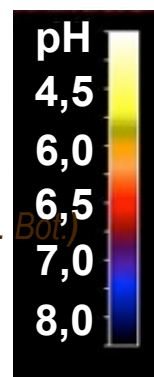


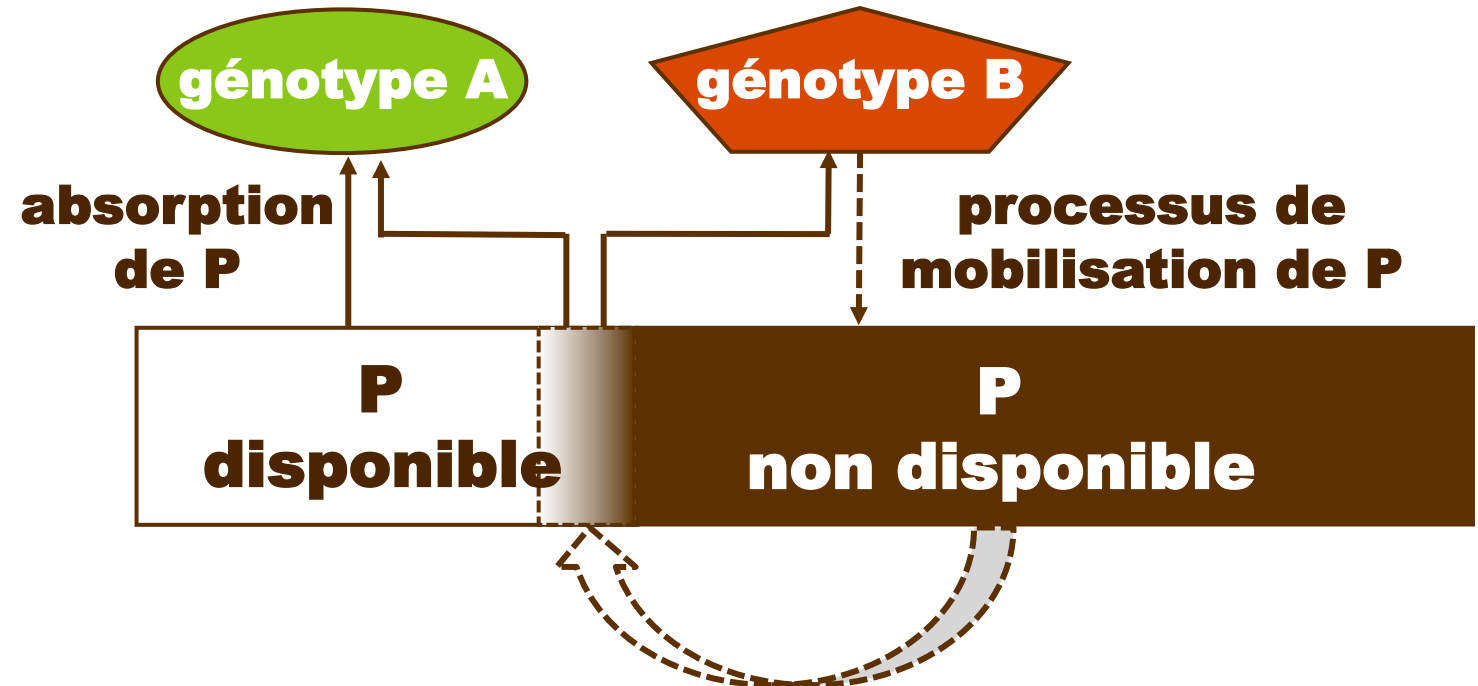
Photo: S. Blossfeld, Research Centre Juelich



**Suivi des variations de pH dans la rhizosphère
du pois-chiche associé au blé dur,
avec des senseurs optiques (optodes)
en rhizotron**

(Blossfeld, Schreiber, Liebsch, Kuhn & Hinsinger 2013 – Ann.





→ **facilitation intra-spécifique**

P for two – Processus rhizosphériques impliquées dans la facilitation de l'acquisition de P en mélange de variétés

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

de multiples leviers pour l'intensification écologique / acquisition P

- **Génotypes performants**
(traits racinaires – *foraging* et rhizosphériques – *mining*)
- **Mélanges de génotypes**
(traits racinaires – *foraging* et rhizosphériques – *mining*)
- **Associations et rotations**
avec des plantes efficaces
(ex: céréales/légumineuses)
- **Inoculants microbiens**
(pgpr, bactéries solubilisatrices, champignons mycorhiziens)



- etc... **manque de références aux conditions du champ...**