

La modélisation des relations sol-plante

Alain Mollier, Sylvain S. Pellerin

▶ To cite this version:

Alain Mollier, Sylvain S. Pellerin. La modélisation des relations sol-plante. Séminaire du RMT: 5. journée prospective du RMT Fertilisation et Environnement, Jan 2011, Paris, France. hal-02802967

HAL Id: hal-02802967 https://hal.inrae.fr/hal-02802967

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.

La modélisation des relations sol-plante

A Mollier et S Pellerin UMR TCEM INRA-Bordeaux

Plan

- Les modèles de croissance des cultures
- II. Modélisation du transfert sol-plante du phosphore
- III. Les modèles de transfert sol-plante: intérêt et limites pour le diagnostic et le raisonnement de la fertilisation





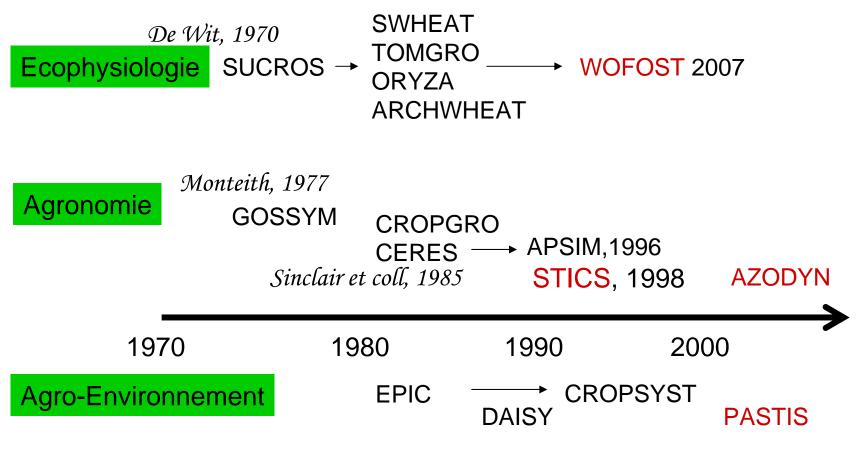
I. Les modèles de croissance des cultures





I. Les modèles de croissance des cultures

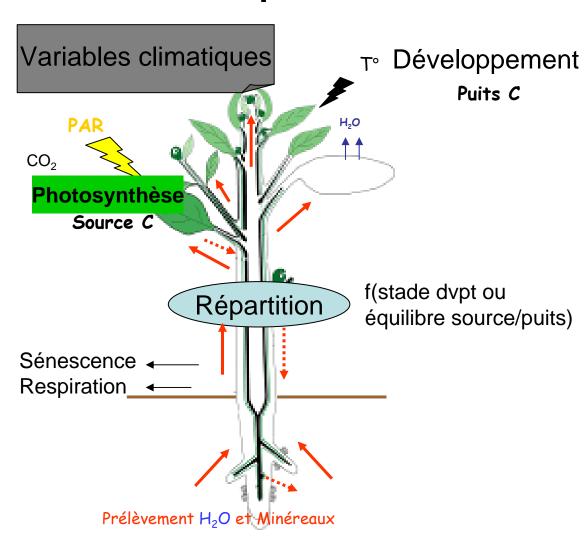
Historique





Adapté d'après Brisson, 2009

Principe de fonctionnement



Prédiction de la croissance & rendement potentiels

Prédiction des besoins en eau & éléments minéraux (N)



Complexité variable

- Modèles « simples » fondés sur des relations empiriques qui intègrent de nombreux processus (nombre de paramètres et variables réduit)
- Modèles mécanistes complexes: intègrent les processus biologiques, physico-chimiques élémentaires et leur dynamique (très couteux en paramètres)
- Modèles « intermédiaires »: hétérogénéité du degré de complexité des processus modélisés
 - Cible de ces modèles?
 - ➤ Degré de connaissance scientifique?

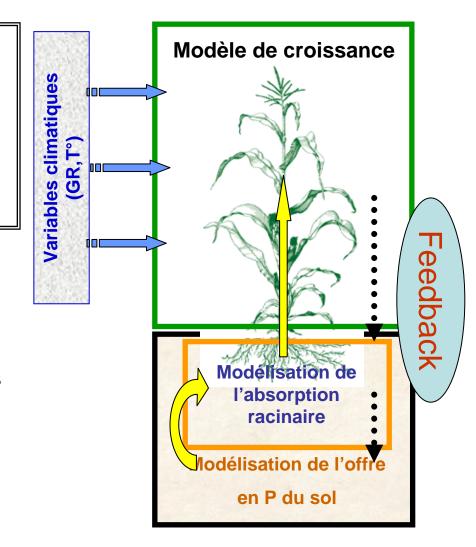






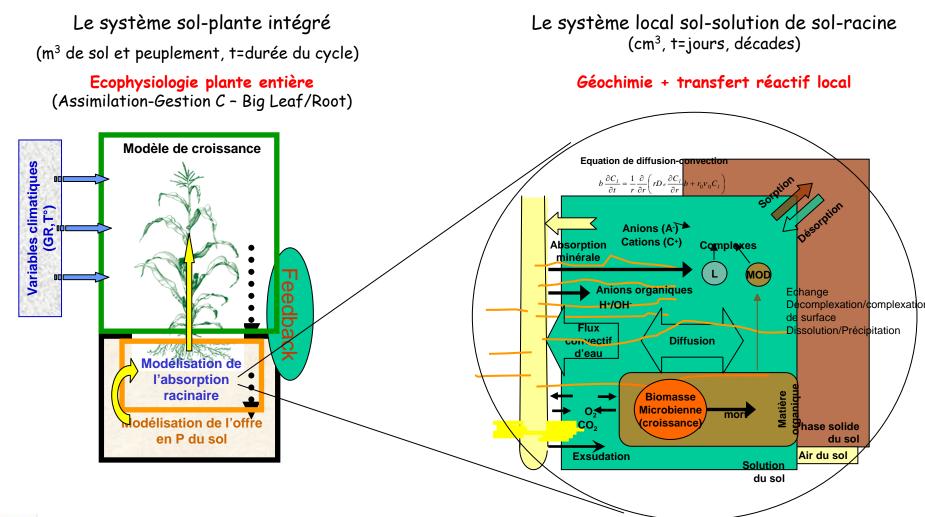
•Objectif:

- •Prédire le prélèvement de P et la croissance des plantes
- •Moyens: Elaborer un modèle mécaniste mettant en relation la *biodisponibilité* du phosphore dans le sol, le *prélèvement* par le système racinaire et *la réponse de la plante*
- Espèces et éléments modèles
 - Maïs
 - P
- Échelle d'espace et de temps:
 - Plante en peuplement
 - Durée du cycle avec un pas de temps journalier
- Cahier des charges:
 - Prise en compte du caractère hautement interactif du système solplante (Rétro-effets)
 - Gamme d'offre du sol allant de suffisant à légèrement déficient



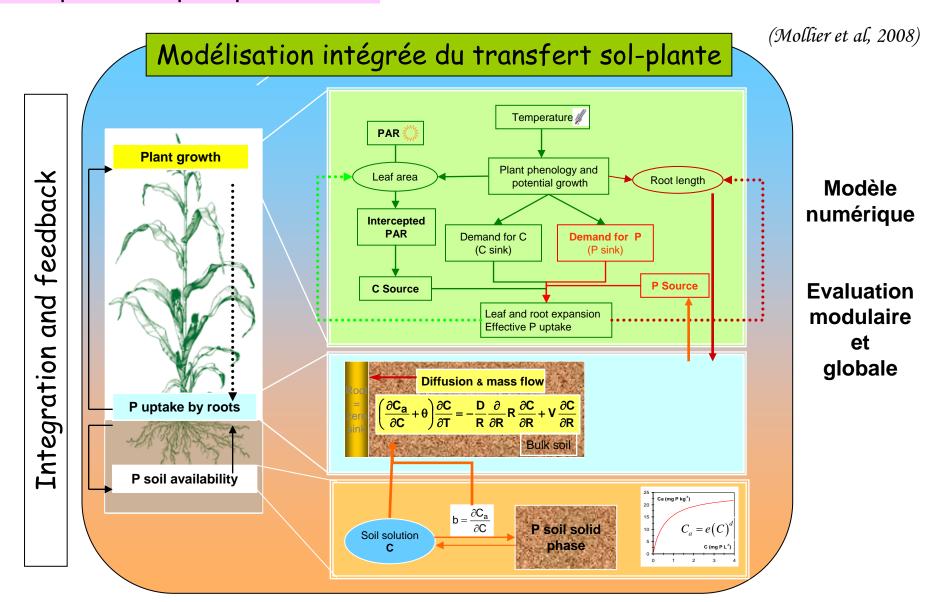
Processus modélisés

⇒ Intégration de 2 échelles

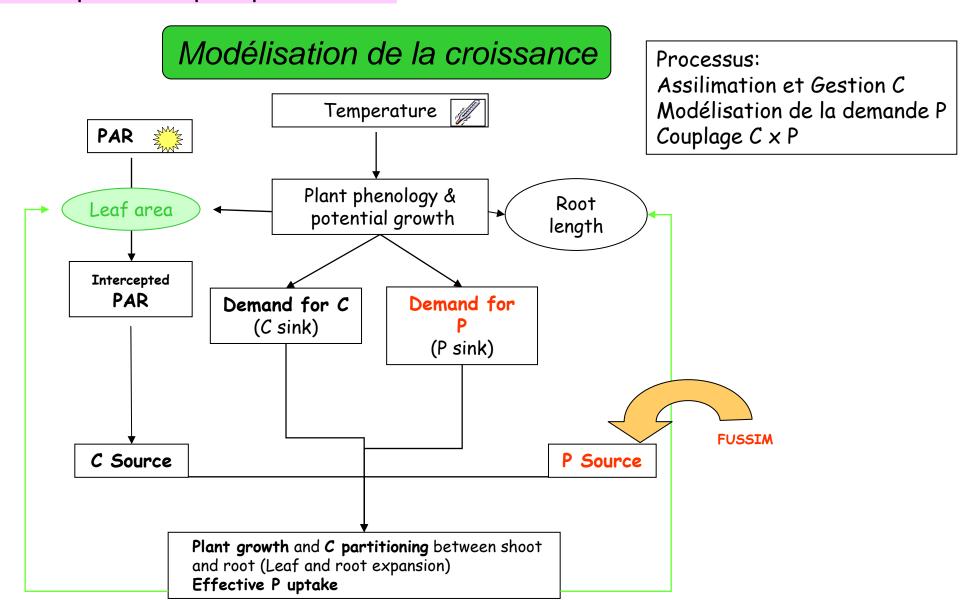




FUSSIM-P Maize

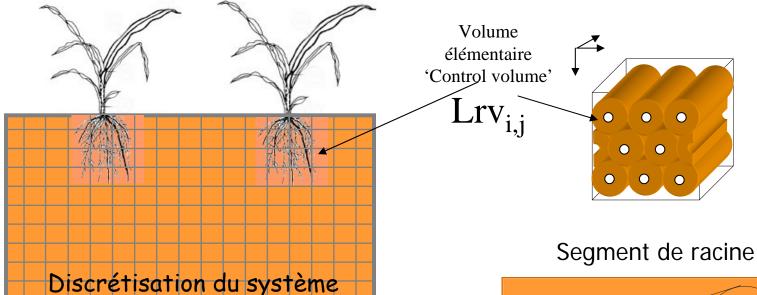




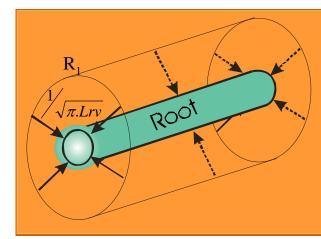




Discrétisation du volume de sol exploré par le système racinaire



- R₀: rayon racinaire (cm)
- R₁: mi-distance moy. entre racines (cm)
- Lrv: longueur de racine par unité de volume de sol (cm cm^{-3})

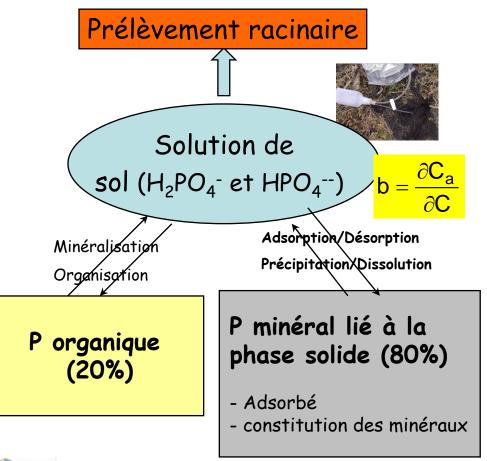






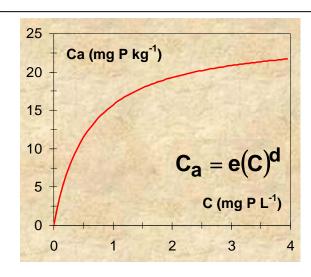
Modélisation de la phytodisponibilité de P

Spéciation et compartimentation du P dans les sols



-La concentration en P dans la solution du sol est supposée en équilibre avec la quantité de P adsorbée sur la phase solide du sol.

-Le transfert de P entre la phase solide du sol et la solution du sol est décrit par une équation de type Freundlich, et est supposé instantané.





Formalisation à l'échelle du segment de racine, puis intégration à l'échelle du système racinaire entier

Processus sol

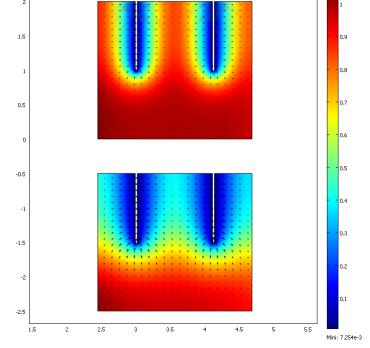
Concentration et pouvoir tampon Diffusion et convection

$$\boxed{b\frac{\partial C_{_{I}}}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\bigg(rD_{e}\frac{\partial C_{_{I}}}{\partial r}b + r_{_{0}}\nu_{_{0}}C_{_{I}}\bigg)}$$

Racines

Propriétés d'absorption (cst, MM) Géométrie – compétition Elongation racinaire

$$I_{n} = \frac{I_{max}(C_{I} - C_{min})}{K_{m} + (C_{I} - C_{min})}$$



Time=8.64e5 Surface: clO0_ Flèche: Flux total_c

Bouldin; Nye Marriott; Barber Claassen; Willigen; Greenwood....

1960

1970

1980

1990

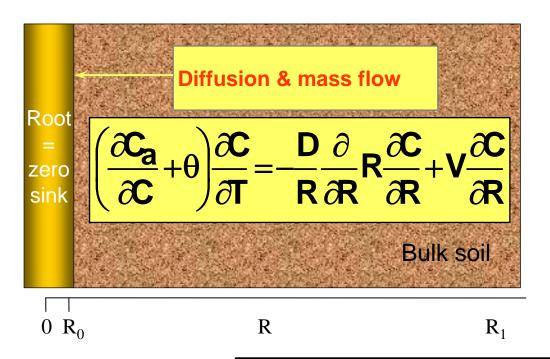
2000

2010



ALIMENTATION AGRICULTURE ENVIRONNEMENT

Modélisation du transport et du prélèvement



Le flux maximal arrivant aux racines est calculé sous l'hypothèse "zero sink", i.e.

$$R=R_0 \Rightarrow C_L=0$$

(de Willigen & van Noordwijk, 1994).

$$A_{\text{max}} = \pi \Delta z L_{\text{rv}} D \overline{C} \frac{(\rho^2 - 1)}{G(\rho, \sigma)}$$

Prélèvement effectif

Min. (Demande, Offre potentielle)





Prinicipales entrées

<u>Général</u>

Discrétisation spatiale et temporelle

Conditions initiales et aux limites

Croissance de la plante

Climat

Croissance potentielle aérienne

Paramètres Monteith

Caractéristiques racinaires

Relations allométriques

Demande en P

Biodisponibilité et transport de P

P Conc. + sorption/desorption paramètres

Prop. Diffusion (Dw, f, theta)

Demande en P

Prélèvement racinaire (NU)

Cmin, conc. minimale pour l'absorption racinaire

Prédictions

Prélèvement de P

Prélèvement cumulé f(temps)

Localisaton zones prélèvement dans le sol

Croissance

Croissance en biomasse aérienne et racinaire

LAI

Root length density

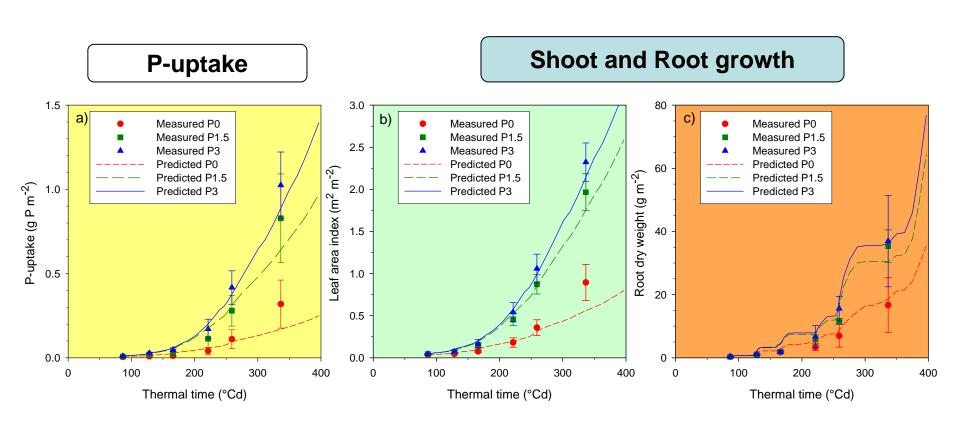
Sol

Evolution de la biodisponibilité globale et locale en P dans le sol





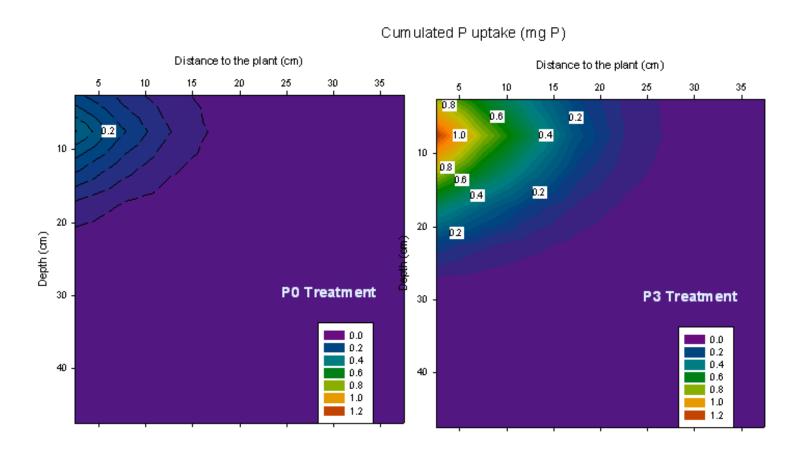
Field evaluation: Comparison of predicted and observed variables



(Mollier et al., 2008; Faget, 2006; Maire, 2005)



Simulation of localization of P-uptake in soil profile



Localisation of cumulated P-uptake after 50 days



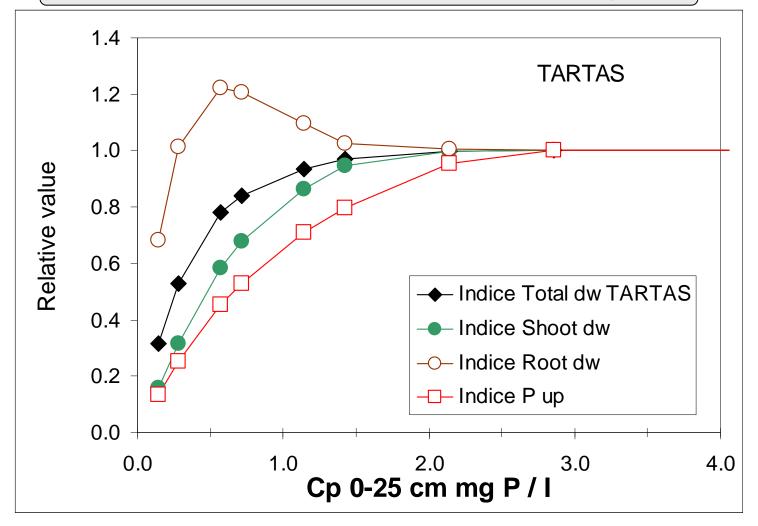
Exemples d'utilisations du modèle intégré de transfert sol-plante de P





1. Simulation de valeurs seuils de C_P dans le sol pour le prélèvement et la croissance du maïs

Prediction of plant response to soil P availability

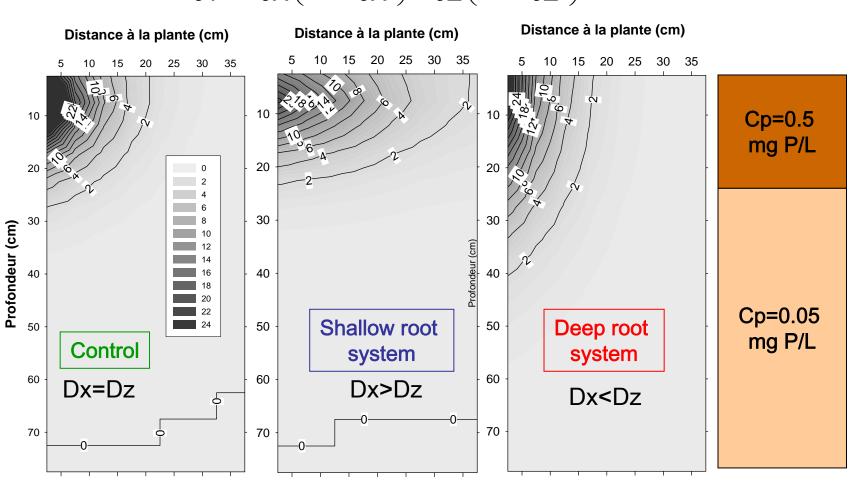






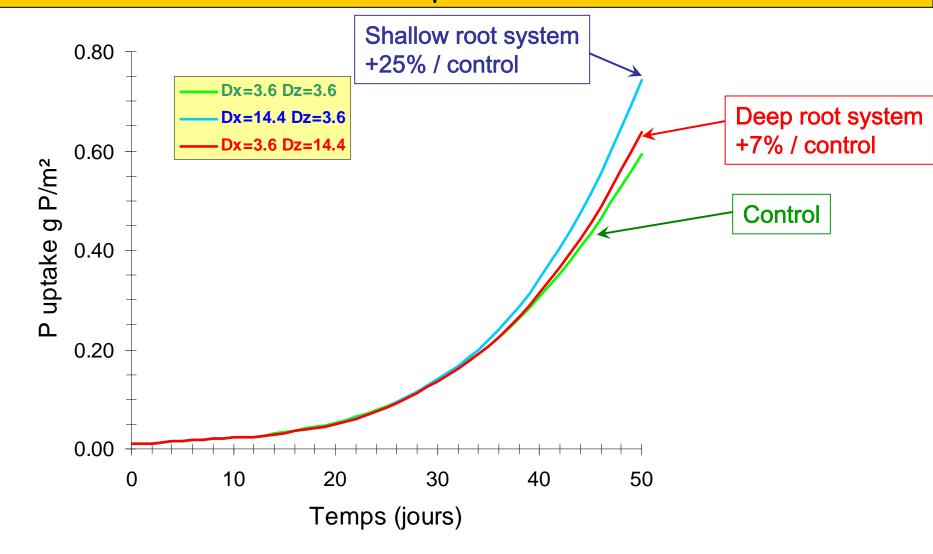
2. Analyse par simulation de l'impact de modifications de l'architecture racinaire sur le prélèvement de P

$$\frac{\partial L_{rv}}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial X} \left(D_{L,X} \frac{\partial L_{rv}}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(D_{L,Z} \frac{\partial L_{rv}}{\partial Z} \right) - \lambda_L L_{RV} + Q_L \left(X, Z, T \right)$$



Iso-contours des densités racinaires après 50 j de simulation

2. Analyse par simulation de l'impact de modifications de l'architecture racinaire sur le prélèvement de P



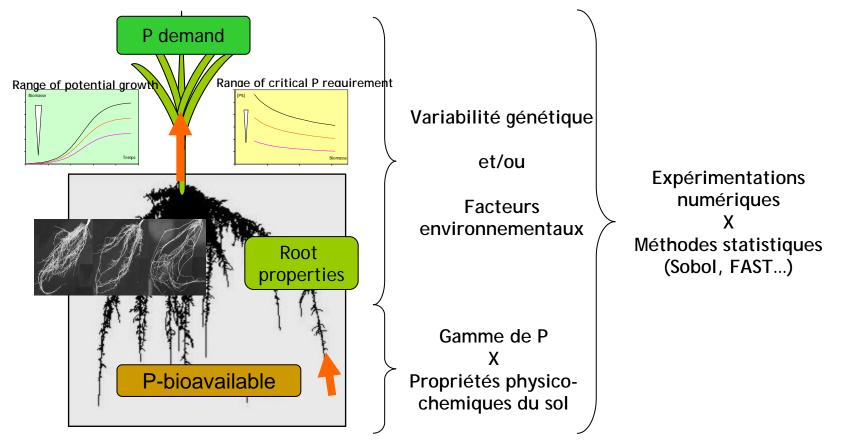




3. Utilisation du modèle pour des recherches génériques sur les relations 'architecture racinaire - prélèvement minéral'

- Importance des processus locaux pour la prédiction du prélèvement à l'échelle de la plante entière?
- en faible disponibilité P: Définition d'ideotypes X Fourniture du sol en P

Analyse de sensibilité globale du modèle de transfert sol-plante







III. Les modèles de transfert sol-plante: Intérêt et limites pour le diagnostic et le raisonnement de la fertilisation





Les apports des modèles de transfert sol-plante

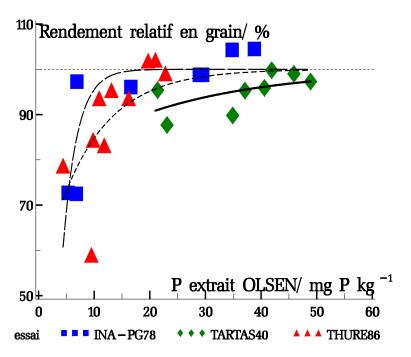
- Cadre conceptuel pour l'étude des interactions complexes au sein du système sol-plante
- Intégration des connaissances
- Outil de prédiction:
 - Exploration numérique: Analyse de sensibilité, évaluation ex-ante de pratiques
 - Ecart prédictions-observations: définition de questions de recherche
 - Diagnostic et établissement de références améliorés





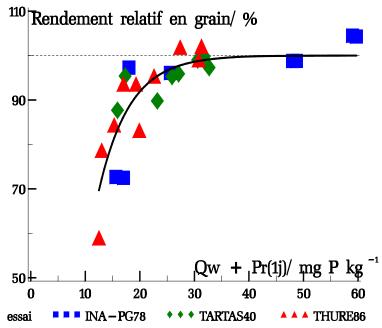
Exemple définition de nouveaux indicateurs

Modélisation empirique basée sur l'expérimentation



Indicateur de biodisponibilité du P: Extractant Chimique

Modélisation mécaniste: élaboration d'indicateurs intégrateurs pertinents / fonctionnement



Nvx Indicateurs de biodisponibilité: Cp et réapprovisionnement par phase solide

(d'après Morel et al, 2000; Morel et Denoroy: Projet CASDAR RIP)



Les limites des modèles de transfert sol-plante

Dilemmes à gérer:

- Généricité et complexité: Nombre élevé de paramètres, difficiles à acquérir
 Difficulté à mettre en œuvre
- Simplicité: intégration dans les outils d'aide la décision

Validation globale vs validation spécifique

Un modèle générique prédira en moyenne correctement sur dans une large gamme de situations, mais peut-être mis en défaut dans des situations spécifiques

Modèle générique → Simplification pour application dans un domaine plus restreint (calibration sur essais *in situ* adaptés)

Analyse multifactorielle limitée:

 Malgré leur complexité, les modèles intègrent toujours un nombre réduit de facteurs (C, N, eau, P, K) et considèrent rarement les interactions. Les facteurs biotiques sont peu pris en compte





Les perspectives

Poursuite de l'acquisition de connaissances scientifiques

- Plante:

- Précision de la demande sur l'ensemble du cycle
- Meilleure représentation du système racinaire
- Considération des symbioses
- Réponse multi-contrainte
- Compétition Facilitation: peuplements hétérogènes

- Biodisponibilité

- Mécanismes de réapprovisionnement par le sol
- Intégration du pool de P organique: lien avec dynamique microbienne du sol
- Géochimie: interactions en espèces chimiques

Intégration

- Prélèvement hydrique x minéraux
- Hiérarchisation des processus





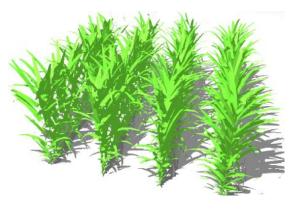
Les perspectives

 Développement des plates-formes de modélisation:

Plante Virtuelle: OpenAlea

Sol Virtuel





Meilleure intégration des processus biologiques – physiques – chimiques et de leurs interactions Exploration numérique de la complexité du système solplante

Système de culture







http://www.bordeaux-aquitaine.inra.fr/tcem

Merci de votre attention

