



HAL
open science

Modélisation, simulation et prévision de la dynamique à long terme du P phytodisponible du sol en fonction des pratiques agricoles. Contribution des essais P longue durée à la compréhension du fonctionnement biogéochimique du cycle du P dans les agrosystèmes

Christian Morel, Alain Mollier, Pascal Denoroy, Sylvain Pellerin

► **To cite this version:**

Christian Morel, Alain Mollier, Pascal Denoroy, Sylvain Pellerin. Modélisation, simulation et prévision de la dynamique à long terme du P phytodisponible du sol en fonction des pratiques agricoles. Contribution des essais P longue durée à la compréhension du fonctionnement biogéochimique du cycle du P dans les agrosystèmes. “ Enjeux sur le sol : les dispositifs de longue durée pour répondre aux questions d’aujourd’hui et de demain ”, Nov 2018, Versailles, France. 10.13140/RG.2.2.21705.19047 . hal-02737853

HAL Id: hal-02737853

<https://hal.inrae.fr/hal-02737853>

Submitted on 2 Jun 2020

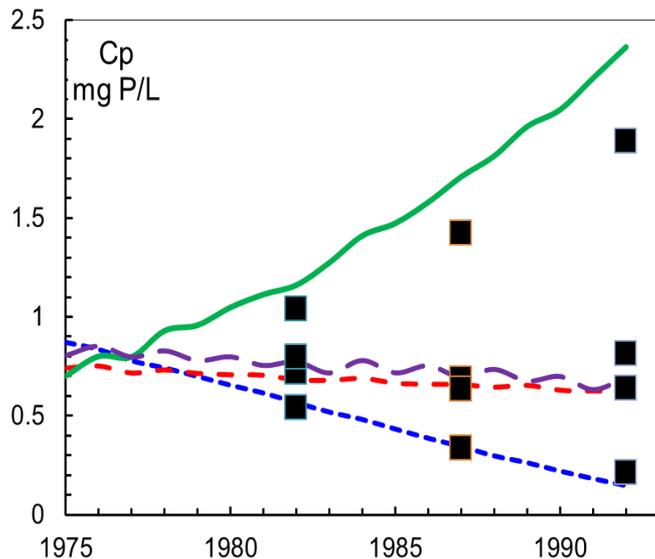
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Modélisation, simulation et prévision de la dynamique à long terme du P phytodisponible du sol en fonction des pratiques agricoles



Nécessité des ELD-P pour :

- trouver/mettre au point une évaluation fonctionnelle et mécaniste de l'offre du sol en P
- Construire un modèle décrivant le cycle du P
- tester sa valeur en étudiant sa capacité prédictive à long terme
- élaborer de nouveaux référentiels

C. Morel, A. Mollier, P. Denoroy et S. Pellerin
ISPA, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

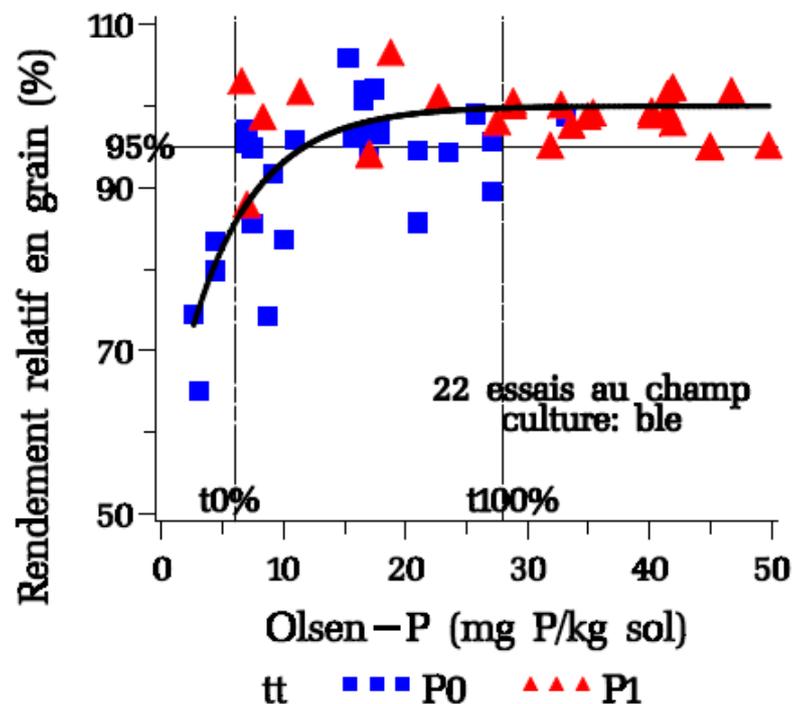


① Les enseignements tirés des ELD

Le raisonnement de la fertilisation en P repose sur une extraction chimique du P du sol, l'exigence des cultures et un référentiel associé.

Malgré les évolutions et les progrès réalisés:

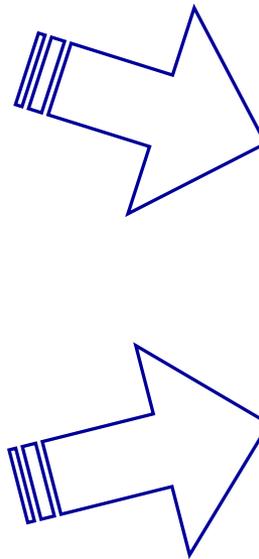
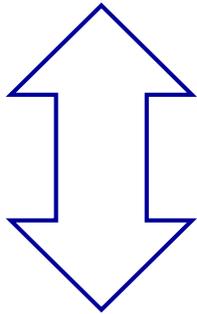
- Relation IR vs P-Olsen pour 22 sites expérimentaux et même culture : plus de 50% de la variabilité expérimentale reste inexpliquée.
- Les seuils de raisonnement ont été fixés avec une marge de sécurité pour avoir un diagnostic sécuritaire



① Les enseignements tirés des ELD

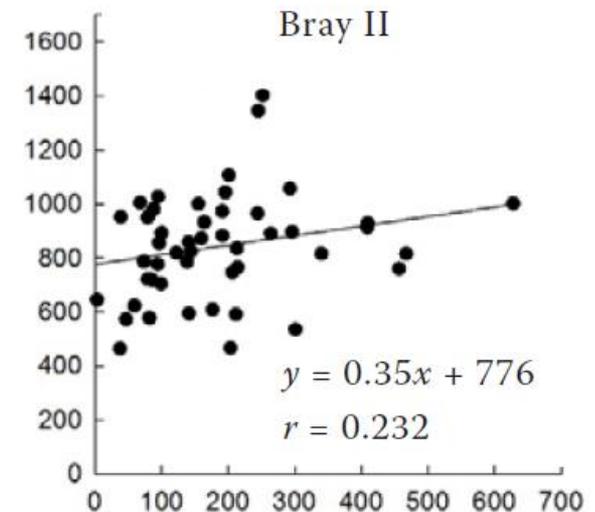
Le P-phytodisponible du sol est analysé par une extraction chimique MAIS:

P-Olsen ne rend compte que de $\pm 10\%$ à 30% du P prélevé suivant site
(Boniface et Trocmé, 1988)



Suivant extraction chimique,
± dissolution de formes de P non absorbées par les plantes;
± resorption d'ions-P (Fardeau et al. 1988)

Les méthodes d'extraction chimique du P dans les sols sont peu reliées au P prélevé (Zehetner et al. 2018)



Correlation of extractable soil phosphorus (P) with plant P uptake: 14 extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe

① Finalement

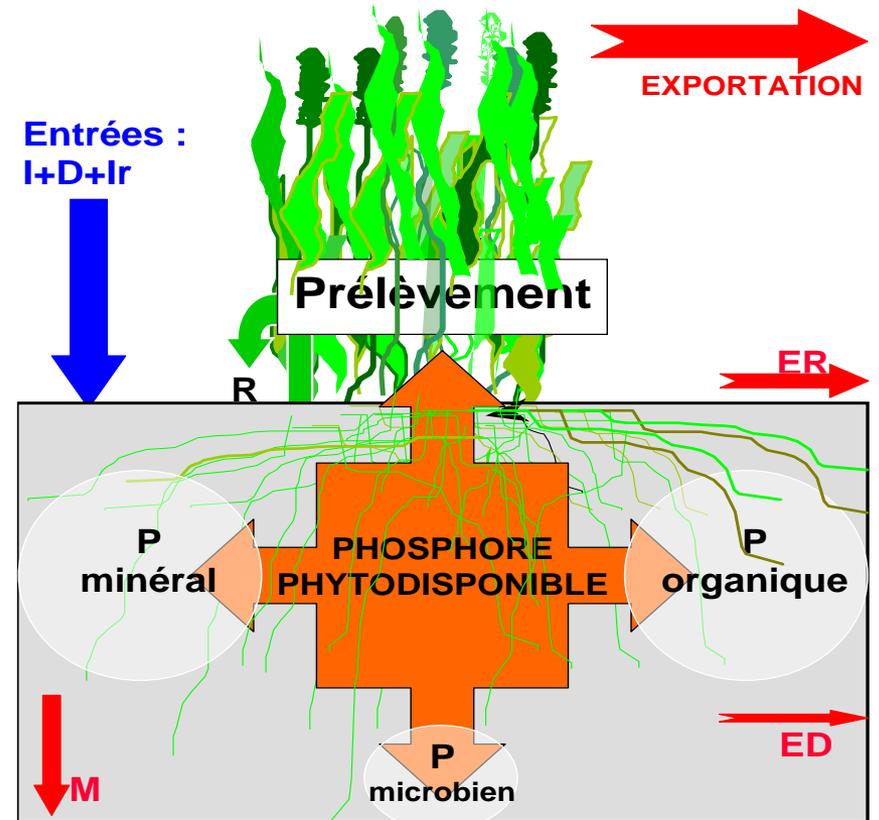
Enseignement général: changer de paradigme, raisonner avec nouvelles bases scientifiques plus en adéquation avec le fonctionnement biogéochimique du cycle du P

- Améliorer la qualité des prescriptions en prenant en compte les processus physico-chimiques et biologiques contrôlant le fonctionnement du cycle du P dans différentes situations agropédoclimatiques;
- Progresser dans la compréhension, la quantification et la modélisation du fonctionnement du cycle biogéochimique du P des agrosystèmes (évaluation fonctionnelle et mécaniste du P phytodisponible; son évolution à long terme vs pratiques agricoles; ses relations avec le rendement des cultures) pour élaborer un système de diagnostic/prescription plus précis et fiable.
- Dans un contexte où les enjeux agro-socio-économiques associés au P-agricole sont de plus en plus forts (raréfaction du P des gisements; optimisation de la production agricole à bas niveaux d'intrants; limiter les pertes de P d'origine agricole vers l'environnement; recyclage des MAFOR)

② Cycle du P dans les écosystèmes cultivés: généralités

Cycle P: ensemble des flux d'entrées et sorties de P, des processus de transformations et d'évolution des stocks impliqués dans la circulation sol-plante du P

P phytodisponible: fraction du P total du sol susceptible de participer à la nutrition des cultures



② Cycle du P dans les écosystèmes cultivés: ordres de grandeur

Entrées de P

- **Intrants: de l'ordre 20-40 kg P /ha/an**
- Dépôts atmosphériques, irrigation: ~ 0.1 kg/ha/an
- P semis: ~ 0.1 kg/ha/an

Couche labourée (3750 tonnes de terre /hectare)

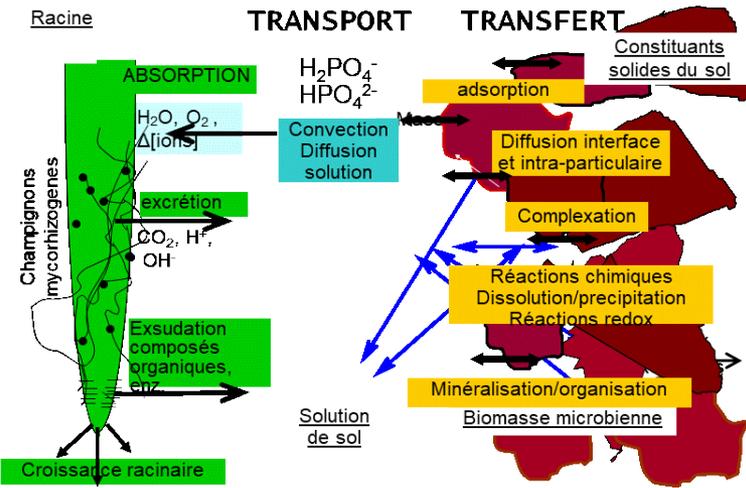
Compartiments	kg P/ha	kg P ₂ O ₅ /ha
P total	2650	6070
P minéral	2000	4580
P organique	600	1370
P microbien	50	115
P extractible-Olsen	75	170
P phytodisponible, ions P dissous	0.2	0.5
P phytodisponible, ions P diffusibles 1an	500	1145

Sorties de P

- **P exporté récoltes: 20-25 kg P/ha/an** (~ 60 kg P₂O₅/ha/an)
- P exporté/restitué dans les résidus organiques : 4 kg P/ha/an
- P ruisselé: en général <1 kg mais parfois plusieurs kg
- P lixivié/lessivé: <0.5 kg au-delà de la couche labourée

② Evaluation fonctionnelle et mécaniste du P phytodisponible: les acquis dans le contexte des sols cultivés/labourés de longue date

- ❑ Les racines absorbent le phosphore sous forme d'ions orthophosphate (ions- $P=H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) dissous.
- ❑ La quasi-totalité (99%) des ions-P absorbés par les racines proviennent de la phase solide du sol.
- ❑ Le transfert sol-solution des ions-P (sorption-désorption) se fait essentiellement par diffusion, cad sous l'effet du gradient de concentration sol-solution au sein de la rhizosphère créé par le prélèvement d'ions-P par les racines (mycorhizées).
- ❑ La cinétique d'équilibre sol-solution des ions-P diffusibles est une variable clé
- ❑ La minéralisation nette du P-organique du sol est un processus secondaire

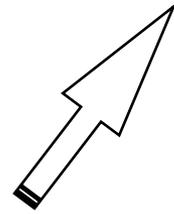
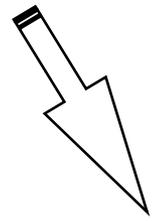
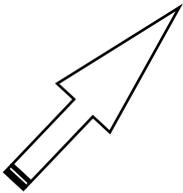


② Evaluation fonctionnelle et mécaniste du P phytodisponible: mesure au laboratoire, calculs et applications

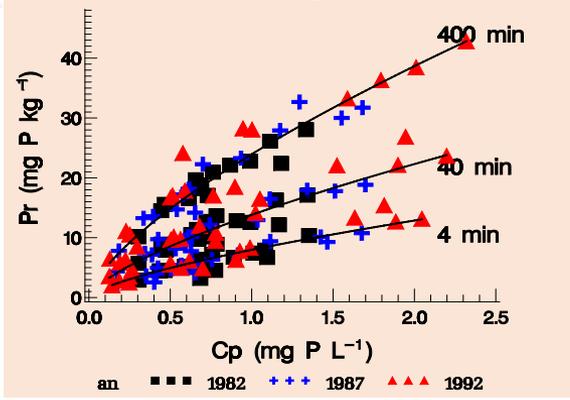
① Au champ:
prélèvements d'échantillons de sol dans les ELD. Préparation, stockage et archivage

③ Paramétrage du transfert sol-solution en fonction du temps et de la concentration des ions-P dissous (Cp)
 $Pr = 5.7Cp^{0,69} t^{0,24}$ (144 observations, $r^2=0,95$)

⑤ Applications:
Cycle du P: équation de conservation de la masse de P entre $\Delta(\text{ions-P(dissous+diffusibles)}) = \text{Bilan P}$



② Au labo, acquisition de jeux de données (Cp et $Pr=f(Cp,t)$)



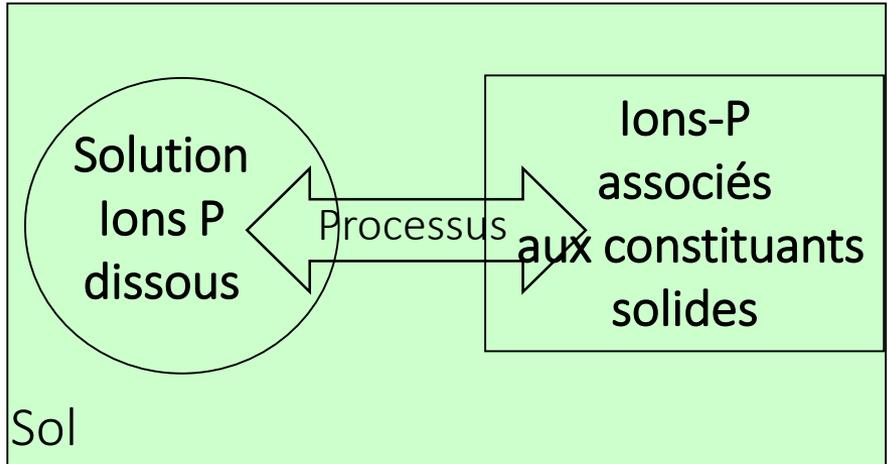
④ Calculs des valeurs de Pr pour toutes valeurs de Cp et de t

		Durée du transfert sol-solution par diffusion					
		1j	2j	7j	30 j	Etc...	365j
Cp, mgP/L	0.1	6.7	7.9	11	15	etc..	27
	0.5	20.2	23.9	32	46	etc..	83
	1	32.6	38.6	52	74	etc..	135
	etc...	etc...	etc...	etc...	etc...	etc...	etc...

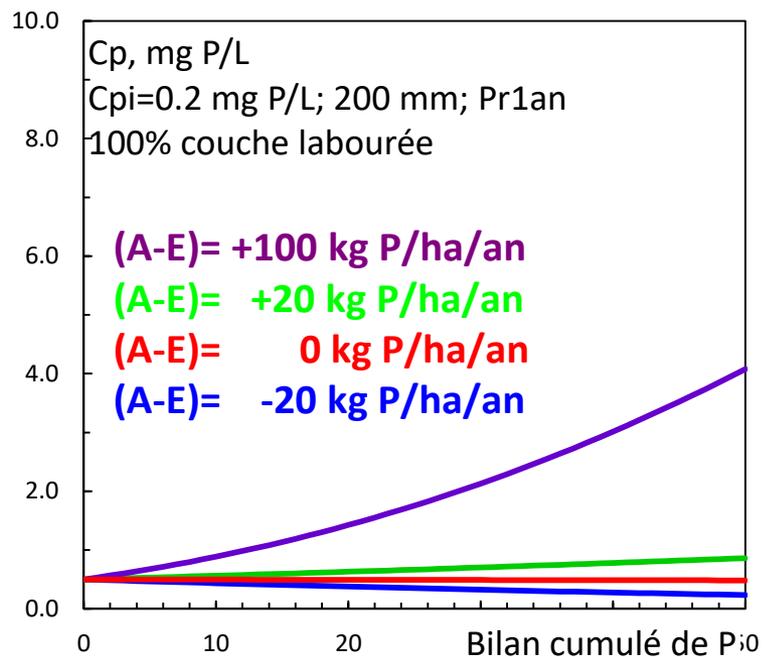
② Evaluation fonctionnelle et mécaniste du P phytodisponible vs bilan E-S: construction d'un modèle

Bilan P = Entrées – Sorties

conservation de la masse de P:
 $\text{ionsP(dissous+diffusibles)}_i - \text{ionsP(dissous+diffusibles)}_{i+1\text{an}}$
 = \pm Bilan annuel



Résolution d'équations et exemple de simulations produites par le modèle pour différents scenarios



Limon (CRA-Bretagne, Bignan (56), coll. D. Hanoc
 $(v,w,p) = (16.1, 0.33, 0.34)$
 $Pr(1\text{mg P/L}, 1\text{an}) = 5860 \text{ kg P/ha}$

③ Utilisation des dispositifs de longue durée : comparaison entre simulations vs observations;

Objectif : analyser la capacité du modèle à prévoir les évolutions du P phytodisponible au champ sur le long terme

Pour y répondre utilisation des ELD-P effectués dans le contexte des sols cultivés de longue date sous grandes cultures, labourés et fertilisés ou non avec des niveaux différents de triple-superphosphate ($(\text{CaH}_2\text{PO}_4)_2, \text{H}_2\text{O}$; 45% P_2O_5)

Sites expérimentaux de longue durée mis en place pour couvrir une gamme large et représentative de situations agropédoclimatiques

- ELD-P analysés régulièrement sur plusieurs décennies (évaluation diachronique): comparaison C_p -simulée et C_p -observée
- ELD-P analysés une fois après 1 à 2 décennies d'expérimentation (évaluation synchronique): comparaison ΔC_p -simulée et ΔC_p -observée



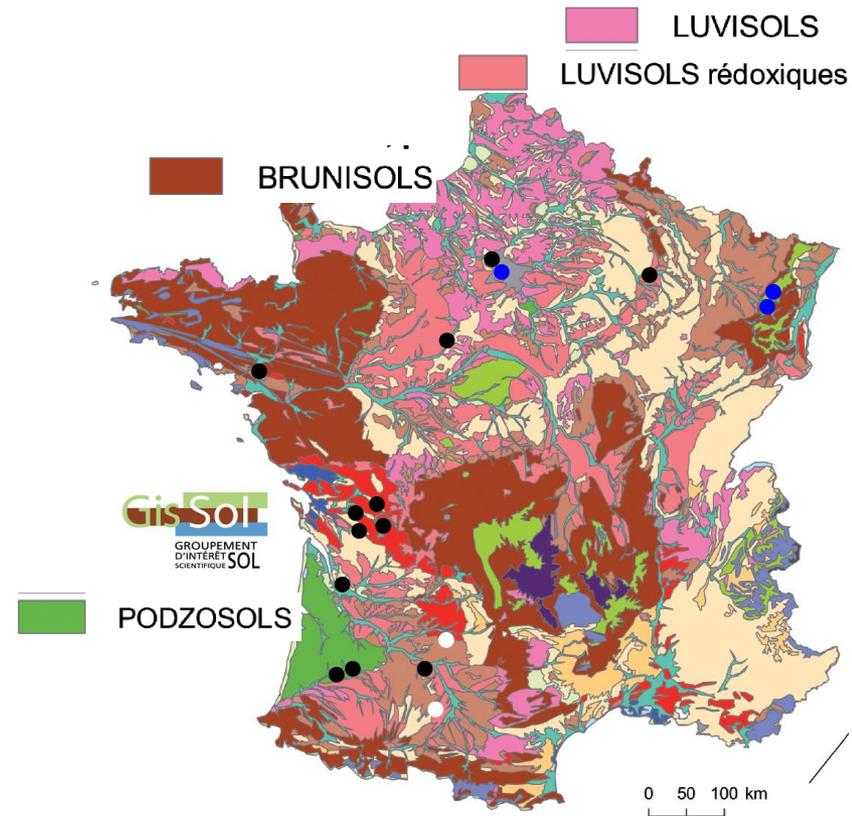
③ Présentation des ELD-P: comparaison simulations vs observations expérimentales

- ❑ ELD-P (TSP, 45% P_2O_5): les différents types de sol avec des propriétés physico-chimiques contrastées, des conditions climatiques variées, différentes rotations. ELD-P toujours en cours et beaucoup arrêtés mais stockés et archivés.

ELD-P à l'étranger: Canada, Madagascar, Suisse, Suède

- ❑ ELD-PRO: Qualiagro et INRA-Colmar du réseau SOERE-PRO (coll. S. Houot et A. Michaud, D. Montenach)

- ❑ ELD-P prairies permanentes (coll. C. Jouany, S. Sinaj)

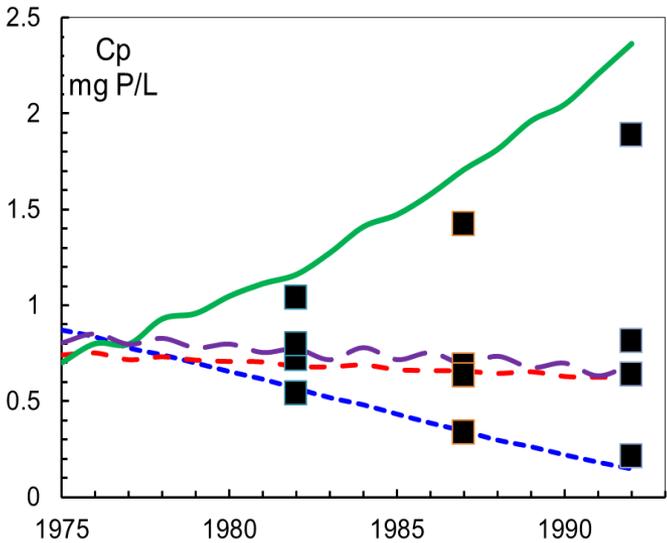
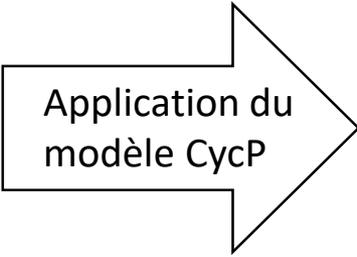
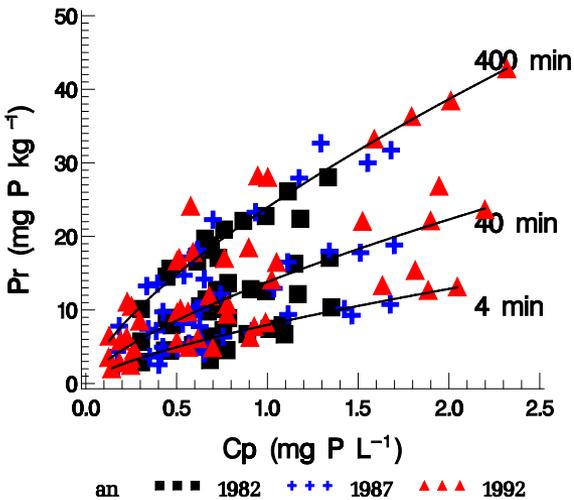


LA DIVERSITÉ DES SOLS DE FRANCE L'état des sols de France p. 39

③ évaluation diachronique: comparaison simulations vs observations expérimentales

Essai Mant (1975-1991): sol limoneux, neutre. SW. Monoculture maïs

- 79 kg P-TSP/ha (×3 P exporté grains)
- 27 kg P-TSP/ha (×1P exporté grains)
- 52 kg P-TSP/ha une fois tous 2 ans
- 0 P (impasse permanente)

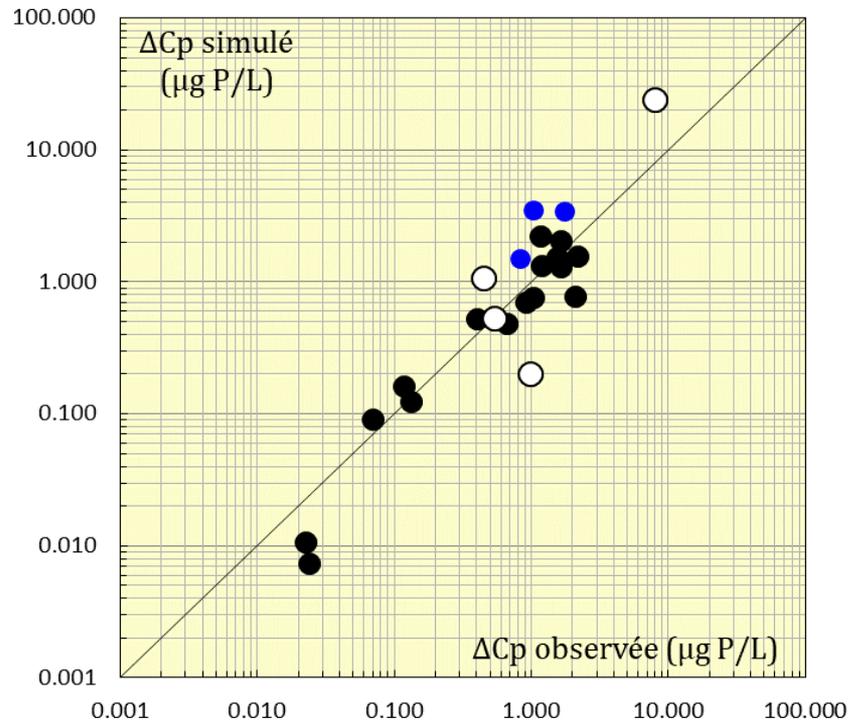


Paramétrage de la dynamique des ions-P diffusibles est invariant si les propriétés physico-chimiques du sol ne sont pas affectées.

Les simulations prédisent Cp sur près de 2 décennies pour P0, P27 et P52/2; surestiment Cp-observées pour P79

(Morel et al. 2011; Messiga et al. 2015)

③ évaluation synchronique ensemble d'ELD-P: comparaison simulations vs observations expérimentales de ΔC_p ($\mu\text{g P/L}$)



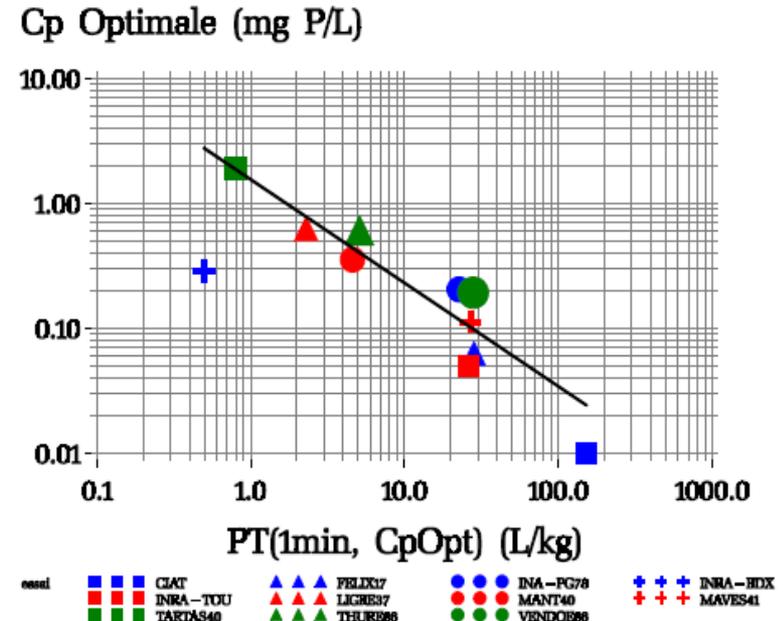
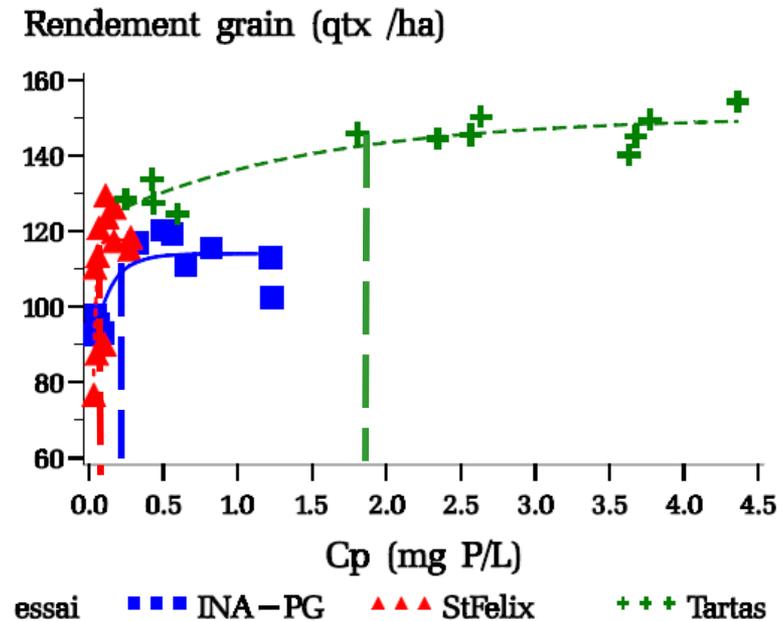
Le modèle CycP simule correctement les 3 ordres de grandeur des ΔC_p observées au champ pour les différentes situations

Principales hypothèses/questions:

- 100% du P prélevé provient de la couche labourée
- Durée de l'équilibre sol-solution des ions-P
- Modalités de préparation des échantillons (séchage, broyage < 2mm)
- Autres...

④ Relation rendement vs ions-P(dissous+diffusibles)

Exemple: essais ELD-P choisis pour leurs différences de propriétés de sol avec même culture (maïs)



Cp-optimale (95% du rendement) dépend des propriétés du sol. Les valeurs différent grandement entre les essais.

Cp-optimale (95% du rendement) est d'autant plus élevée que le transfert sol-solution des ions P diffusibles est faible. Et réciproquement.

Idem sur K (Schneider et Pellerin, 2003) 14

⑤ Conclusions

Les dispositifs expérimentaux de longue durée sur fertilisation P sont indispensables pour étudier le fonctionnement biogéochimique du cycle du P, quantifier/hiérarchiser les processus et les flux *in situ*, et pour élaborer de nouveaux outils méthodologiques: évaluation agroécologique du P phytodisponible (flux/processus)

ILS sont indispensables également pour mettre à l'épreuve, tester et améliorer un modèle décrivant le fonctionnement du cycle du P

ILS sont nécessaires pour acquérir rapidement de nouveaux référentiels associés à ces nouveaux indicateurs de fonctionnement (concentration en solution et transfert sol-solution des ions-P)

Questions prioritaires se dégagent pour mieux comprendre le fonctionnement du cycle du P: chiffrer l'interception par les racines (mycorhizes) le long du profil de sol; ii) durée d'équilibre ? iii) étudier si « préparation du sol » est à l'origine de biais méthodologique (cinétiques)