

## **Projet CAS-DAR\***

### **"Raisonnement Innovant de la fertilisation Phosphatée", validation de nouveaux concepts ?**

P.Denoroy \*\* (INRA), L.Fourrié, F.Butler (ACTA), P.Castillon (Arvalis), N.Souplet, M.Metraille (CETA Romilly), L.Champolivier (CETIOM), T.Savoie (Ch.Agr.28), D.Hanocq (Ch.Agr.Bretagne), C.Raynal (CTIFL), C.Morel (INRA), R.Duval (ITB), A.-S. Kouassi (UNILET)

\*Ce projet est financé par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (appel à projet CAS-DAR 2007, n° 7152)

\*\* Auteur correspondant : [denoroy@bordeaux.inra.fr](mailto:denoroy@bordeaux.inra.fr) ; UMR 1220 INRA-ENITAB Centre de recherche de Bordeaux, BP 81, 33883 Villenave d'Ornon Cedex

#### **Les concepts fondateurs**

Le phosphate (noté P par la suite) disponible pour les plantes est la somme des ions dissous dans la solution du sol et des ions diffusibles depuis la phase solide du sol (Morel *et al*, 2000 ; Morel 2002). C'est donc cet ensemble qu'il faut considérer pour évaluer l'offre d'un sol relativement aux besoins de la culture et estimer la quantité de fertilisant éventuellement nécessaire pour que le phosphore ne soit pas limitant de la production.

Les deux compartiments, P diffusible (Pr, en mg P/kg de terre) et le P dissous (Qw, déduit de la concentration Cp des ions P dans la solution) sont en équilibre dépendant du temps de diffusion (t) considéré. Cet équilibre est formalisé par une équation dynamique de Freundlich :  $Pr = v Cp^w t^p$  (v, w et p sont des paramètres caractéristiques de la terre considérée). Le paramétrage de cette équation est robuste dans une très large plage de concentrations de P dans la solution et de temps (de la minute à l'année).

L'absorption par les racines ou l'apport d'engrais phosphaté déplacent l'équilibre Pr/Cp en diminuant ou augmentant simultanément Pr et Cp. Connaissant les propriétés spécifiques d'un sol vis-à-vis de la mobilité de P, représentées par le paramétrage de l'équation  $Pr = f(Cp)$  ci-dessus, il est donc possible de calculer l'évolution de la biodisponibilité du P en fonction du bilan de P et du temps.

Les plantes sont le plus sensible à la carence en P au cours des stades juvéniles de leur développement (Rodriguez *et al* 1998-a ; Rodriguez *et al* 1998-b ; Plenet *et al*, 2000-a ; Plenet *et al*, 2000-b ; Assuero *et al*, 2004). Une culture non carencée en P pendant cette période n'exprime pas de carence par la suite. C'est par conséquent pour cette période critique qu'il faut déterminer l'offre par le sol du phosphore nécessaire à la culture. Cette valeur servira à calculer la dose de fertilisant éventuellement requise (Castillon *et al*, 2008) : dose nécessaire et suffisante, pour permettre aux jeunes plantes de disposer d'une offre de P biodisponible au moins égale au seuil critique (seuil d'impasse) au dessus duquel la production de la culture n'est pas limitée par son alimentation phosphatée. Pour gérer la fertilité du sol à long terme il est par ailleurs nécessaire de prendre également en compte les bilans de minéraux à la parcelle.

#### **Les objectifs du projet**

Les concepts exposés ci-dessus ont été pour l'essentiel établis à partir de travaux sur le maïs et dans peu de sites expérimentaux.

Le projet "Raisonnement Innovant de la fertilisation Phosphatée" (CASDAR-RIP ; 2008-2010) vise à valider ces concepts sur un ensemble cultures représentant une large gamme "d'exigence" vis-à-vis de la nutrition phosphatée.

Il comprend 3 volets complémentaires pour établir les possibilités de mise en pratique des nouveaux indicateurs de biodisponibilité du P (Cp et Pr) :

- volet 1 : vérifier la pertinence des indicateurs Cp et Pr pour rendre compte de la réponse au P d'un ensemble de cultures (maïs, blé dur, orge de printemps, colza, betterave sucrière, carotte, haricot vert) et dans des conditions pédoclimatiques diverses (universalité de l'indicateur).

- volet 2 : vérifier la robustesse du formalisme de Freundlich pour simuler sur quelques années l'évolution de l'offre du sol en fonction des bilans de P et des pratiques culturales
- volet 3 : évaluer la possibilité d'estimer les paramètres de l'équation dynamique de Freundlich à partir de caractéristiques du sol couramment déterminées par les laboratoires d'analyse de terre

Ce projet associe des acteurs de la recherche et du développement agricole. Au-delà de la validation des concepts, il a pour objectif de proposer un mode de raisonnement de la fertilisation phosphatée conforme aux connaissances actuelles relatives aux rôles de cet élément, ainsi que de fournir les premiers éléments du référentiel d'interprétation qu'il faudra établir pour chaque culture (ou classe « d'exigence »).

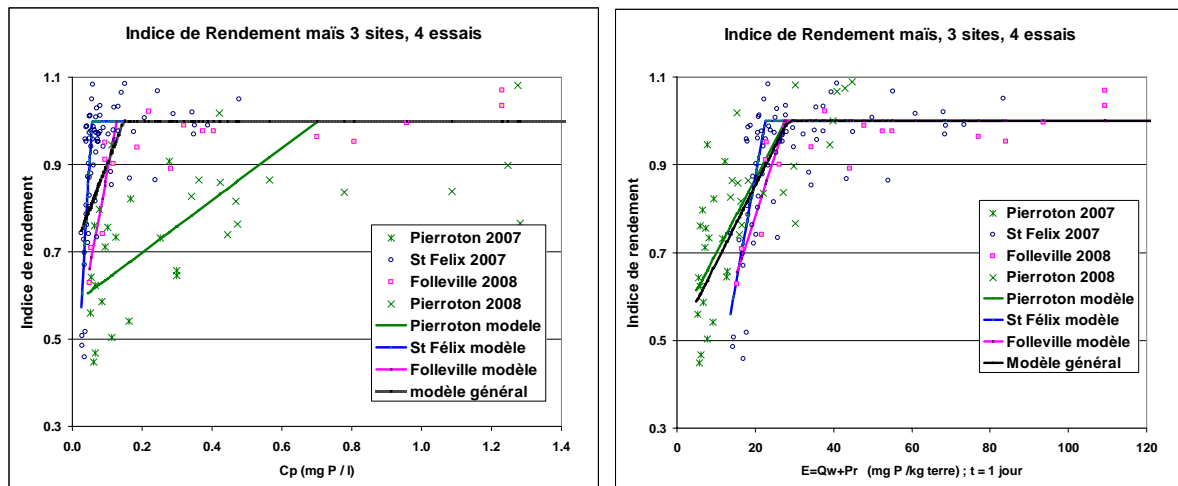
### Leur mise en œuvre pratique dans le projet de recherche et des illustrations

**Le volet 1** vise à caractériser la réponse de la production des cultures (exprimée en indice de rendement –IR- par rapport à la production de parcelles largement pourvues) suivant le niveau de biodisponibilité du P dans le sol. Il utilise des essais de longue durée pour lesquels les régimes de fertilisation ont engendré des offres contrastées de P dans le sol conduisant à des niveaux de production différenciés. Des essais annuels P avec un nombre élevé de niveaux de fertilisation P (8 à 12) sont également réalisés dans des parcelles dont la teneur initiale en P est faible.

L'offre du sol durant la phase de grande sensibilité de la culture à la carence P est estimée par mesure du Cp. Les paramètres de l'équation  $Pr=f(Cp)$  sont estimés pour chaque site par traçage isotopique au  $^{32}P$ . Ces données permettent le calcul de l'offre de P biodisponible  $E = Pr + Qw$  pour toute parcelle expérimentale, offre qui sera confrontée à l'indice de rendement.

La relation entre Cp et la production des cultures est caractérisée par une courbe de réponse spécifique de chaque site, comme pour les méthodes chimiques traditionnelles de caractérisation de la disponibilité du phosphore dans le sol (Olsen, Dyer, Joret-Hébert) qui sont d'ailleurs toujours étroitement corrélées à Cp, pour un site donné.

Mais la prise en compte du P diffusible (Pr) dans le calcul de E montre que les courbes de réponse de chaque site tendent alors à fusionner en une courbe unique : ci-dessous le cas de 3 sites aux sols très contrastés (Pierroton = podzol landais, St Félix = groie de Charente Maritime, Folleville = limon du Bassin Parisien). Le modèle d'ajustement est le modèle linéaire-plateau.



Le calcul de E a été fait sur la base de t égal à une journée (Morel *et al.*, 2000). Dans nos conditions analytiques,  $Qw=10 Cp$ .

sommes des carrés des écarts résiduels sur IR (expérience-modèle)		
indicateur	ajustement de modèle par site (3)	ajustement modèle unique
Cp	1.49	3.42
E=Qw + Pr	1.47	1.65

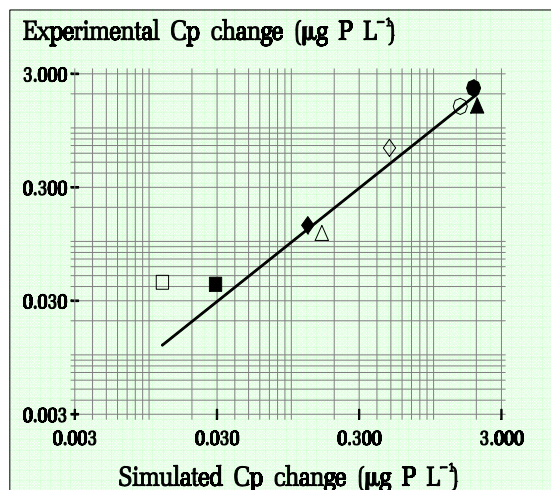
L'indicateur E apparaît un peu meilleur que Cp dans le cas d'ajustement site par site, mais surtout, il est nettement meilleur si on recherche un seul ajustement pour tous les sites.

E est donc un indicateur pertinent et plus universel qu'aucun autre ; il autorise les transpositions de référence d'un site à l'autre, à condition que les paramètres de mobilité soient connus pour chaque site.

Toutefois, le temps  $t$  à considérer pour le calcul de Pr conduisant au meilleur ajustement de IR à E semble dépendre de la culture considérée.

**Le volet 2** est traité en valorisant des dispositifs expérimentaux pluri-annuels existants, bien documentés quant aux entrées/sorties de P, et pour lesquels des échantillons de terre prélevés à diverses dates ont été conservés et peuvent être analysés à nouveau.

L'application des relations établies entre Pr et Cp et les bilans d'entrées/sorties de P permettent de rendre compte des évolutions multi-annuelles de Cp (Morel et al, 2009, ci-contre).



**Le volet 3** sera traité en 2010 à partir de la caractérisation analytique détaillée de la terre de chaque site du volet 1, pour lesquels les paramètres de l'équation  $Pr=f(Cp)$  sont établis. On visera à identifier les caractéristiques du sol qui déterminent les valeurs des paramètres  $v$ ,  $w$  et  $p$  de l'équation de Freundlich afin d'établir une fonction de pédotransfert.

### Perspectives

La structuration d'une opération de recherche-développement dans un projet CASDAR permet d'enclencher une procédure de transfert en permettant à tous les partenaires de s'approprier, critiquer et adapter les concepts. Le comité de pilotage du projet, comprenant l'ensemble des signataires de ce poster, se réunit régulièrement pour évaluer les résultats obtenus et réorienter si besoin les travaux à faire. Ces travaux sont également discutés au sein du groupe PKMg du COMIFER pour d'ores et déjà réfléchir à leur traduction en une méthode opérationnelle de raisonnement de la fertilisation.

### Références bibliographiques

ASSUERO S.G., A. MOLLIER, S. PELLERIN, 2004. The decrease in growth of phosphorus deficient maize leaves is related to a lower cell production. *Plant Cell, Environment* 27, 887-895.

CASTILLON P., P. DENOROY, A. MOLLIER, L. JORDAN-MEILLE, 2008. La dose de P et K nécessaire à une culture est-elle proportionnelle à son niveau de production. *Perspectives Agricoles*, 341: 36-40.

MOREL C., 2002. Caractérisation de la phytodisponibilité du P du sol par la modélisation du transfert des ions phosphate entre le sol et la solution. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. INPL-ENSAIA Nancy. 80p

MOREL C., H. TUNNEY, D. PLENET, S. PELLERIN, 2000. Transfer of phosphate ion between soil and solution. Perspectives in soil testing. Journal of Environmental Quality, 29 :50-59.

MOREL C., H. ANDRAMANIRAKA, P. CASTILLON, P. DENOROY, L. ERICSON, D. HANOCQ, E. KVARNSTRÖM, R. MICHELLON, N. MOUSSA, D. PLÉNET, L. RABEHARISOA, 2009, Predicting soil phosphorus availability to plants in cropped soils. In Eurofert, l'Europe de la fertilisation (Rennes, 3-4 fevrier 2009). J.Belan Ed., p.138

PLENET D., S.ETCHEBEST , A.MOLLIER, S.PELLERIN, 2000-a. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. I. Leaf growth. Plant and Soil 223, 117-130.

PLENET D., A.MOLLIER, S.PELLERIN, 2000-b. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation use efficiency, biomass accumulation and yield components. Plant and Soil 224, 259-272

RODRIGUEZ D, M.M. ZUBILLAGA, E.L. PLOCHUK, W.G.KELTJENS, J.GOUDRIAAN, R.S. LAVADO S 1998 (a) Leaf area expansion and assimilate production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) growing under low phosphorus conditions. Plant Soil 202, 133-147.

RODRIGUEZ D, W.G.KELTJENS, J.GOUDRIAAN, 1998 (b), Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. Plant Soil 200, 227-240.