

## Réunion du groupe de travail P-K-Mg

14 décembre 2021

Visio conférence

9h30 – 12h15

### Étaient Présents :

BOUDES Cédric - Yara France ;  
BOURDELAT Alain ;  
CANARD Alain - Soufflet agriculture ; Alain MOLLIER - INRAE ;  
CARNEC Frédéric - ICL Europe Coöperatief U.A ;  
CHAMPOLIVIER Luc - Terres Inovia ;  
DENOROY Pascal – INRAE ;  
DIEDHIOU Khady – Comifer  
DROISIER Sophie - Comifer ;  
DUFAU Lydie - Phosagro France ;  
FONSEGRIVES Yannick – Lhoist ;  
FLAMMARION Mathilde ;  
GERARD Philippe - VIVESCIA AGRICULTURE SERVICES ;  
HANOCQ Daniel - Chambre régionale d'agriculture de Bretagne ;  
HEURTAUX Mathilde – ACTA ;  
JORDAN-MEILLE Lionel - Bordeaux Sciences Agro ;  
JOUANY Claire – INRAE ;  
KALT Sébastien – Auréa Agrosiences ;  
LAMBERT Marc - Yara France ;  
LECOMTE Rémy - Eurochem Agro France ;  
LEMOINE Agathe - Chambre d'agriculture des Pays de la Loire ;  
LE ROUX Benjamin - Auréa ;  
LE SOUDER Christine - Arvalis ;  
MARION Phillipe - Chambre d'Agriculture de la Marne ;  
MARX Simone – Administration des Services Techniques de l'Agriculture (ASTA) Luxembourg ;  
MONPROFIT Cédric - K+S Kali ;  
MONTANIER Christophe – INRAE ;  
PICO Rémy – Labex COTE ;  
SHNEIDER Anne– Terres Inovia ; Aurélien CHABENAT - Axérial ;  
TAUVEL Paul – ITB ;  
THIEBAUT Florent - CETA ;  
TOURLIERE Pierre-Yves – Roullier ;  
VANDERMEERSCH Elise - Chambre d'agriculture Orne ;  
VERICEL Grégory – Arvalis ;

## Objectif de la réunion

Restitution finale du projet Juste P (Labex COTE, Univ Bordeaux) portant sur la révision des valeurs des seuils d'impasse de phosphore et des teneurs en P des organes récoltés à cette valeur-seuil. Les résultats présentés constituent encore des données provisoires, car l'ensemble des bases de données n'a pas encore été analysé.

Cf. diaporama de la réunion en complément des éléments figurant dans ce compte rendu.

## Contexte et rappel des principes du raisonnement de la fertilisation phosphatée

*Lionel JORDAN-MEILLE - Bordeaux Sciences Agro et INRAE*

Synthèse des méthodes de raisonnement de la fertilisation phosphatée, avec une comparaison des pratiques françaises à celles des autres pays européens.

En France, le raisonnement de la fertilisation en P est basé sur 3 étapes : une **extraction chimique** du phosphore biodisponible, suivi d'un **diagnostic de l'état de fertilité du sol** qui consiste à comparer la valeur de l'extraction chimique à une valeur seuil et pour finir une **préconisation de conseil** en fonction des exigences de la culture.

Le projet Juste P ne concerne que l'étape relative aux **valeurs seuils** utilisées pour le diagnostic.

La France, ainsi que l'ensemble des pays européens enquêtés dans le cadre du projet « Juste P », utilisent une extraction chimique pour évaluer la teneur en phosphore extractible qui représente l'offre du sol.

Les méthodes d'extraction sont nombreuses et en France il y en a plusieurs qui sont utilisées dont la méthode Olsen qui est la plus communément admise en Europe.

Une valeur seuil est définie comme celle en dessous de laquelle les apports de phosphore seront valorisés au niveau du rendement. La grille des seuils actuellement utilisés en France repose sur les anciens travaux de l'INRAe et du COMIFER dans les années 70-80, utilisant des indices de rendement en fonction de la teneur en P extractible avec des seuils d'impasse et des seuils de renforcement. L'ITCF (devenu Arvalis) a travaillé sur la régionalisation des seuils.

La méthode d'élaboration de ces seuils ainsi que les essais qui ont été réalisés n'ont pas été largement publiés et il n'existe quasiment pas de documents sur ces anciens travaux.

La notion d'exigence des cultures est également prise en compte dans le raisonnement de la fertilisation P. Celle-ci traduit l'importance des pertes de rendement lorsqu'on est en situation de carence ou le nombre d'années au bout desquelles le rendement décroche (peu d'années : forte exigence, beaucoup d'années : faible exigence)

Les interprétations et les classements varient selon les pays, et certains pays ne raisonnent pas en termes de classes d'exigence.

Cependant, les préconisations se font selon une logique commune : recherche d'un bilan P à l'équilibre à l'échelle de chaque parcelle, autour du seuil d'impasse ; lorsque les teneurs en P sont éloignées de ce seuil, des impasses ou des renforcements sont préconisés. Les préconisations sont toujours exprimées en fonction du niveau des exportations annuelles.

La France est parmi les pays européens qui ont les préconisations les plus élevées (Jordan-Meille *et al.* 2012<sup>1</sup>), ce qui justifie, en partie, le projet de rénovation des seuils de fertilisation en P. L'objectif est donc de définir des seuils d'impasse au plus juste, et de réévaluer, à ces nouvelles valeurs de seuil, les teneurs en P des parties exportées. Ces 2 piliers de l'étude sont donc susceptibles de modifier le niveau des préconisations.

### **Remarques / Questions :**

SS : Comment s'explique l'écart très important qu'on observe entre la méthode Régifert et la méthode Comifer qui sont deux méthodes françaises ? Sur combien de situations culturales ont été réalisés ces calculs ?

LJM : les calculs ont été réalisés à partir d'un cas d'étude. Peut-être que la manière dont le cas d'étude a été formalisé a fait que les résultats sont très clivants.

PD : La méthode Régifert était basée sur le même principe que la méthode Comifer mais c'est le paramétrage qui variait énormément, ce qui peut expliquer les différences observées. Cela justifie aussi le projet Juste P, avec l'importance de revoir le paramétrage de la grille Comifer actuelle, car même si le raisonnement est correct, un mauvais paramétrage peut biaiser les résultats.

CM : par rapport à l'exigence des cultures, sur la betterave, des décalages importants ont été observés en début de cycle mais au niveau du rendement final, il n'y a pas eu trop de différences : compensation des apports.

## **Le déroulement du projet Juste P**

*Pascal DENOROY – INRAE*

Le bus du projet est d'identifier des valeurs de référence et établir des seuils à partir desquels un système de préconisation pourra être mise en place. Dans cette étude, on ne touche pas au mode de raisonnement.

Dans un premier temps, des données issues d'essais réalisés au cours des 30 dernières années ont été rassemblées et mises en commun afin d'avoir une base de données collective. Il s'agit d'essais de longues durées, avec des niveaux de disponibilité de P dans le sol très contrastés et d'essais annuels réalisés dans la cadre du projet CASDAR-RIP. Pour certains essais (Vivescia), on ne dispose que de valeurs moyennes.

L'inventaire des données a présenté quelques limites qui résident dans l'hétérogénéité des protocoles d'essais de longue durée et les variations interannuelles (essais ayant des conceptions différentes).

---

<sup>1</sup> An overview of fertiliser-P recommendations in Europe: Soil testing, calibration, and fertiliser recommendations. *Soil Use and Management*. 28, 419-435.

De plus, les échantillonnages de sol sont assez irréguliers et les analyses ne sont pas toujours réalisées avec la méthode Olsen, ni à la même profondeur. Il a donc fallu réaliser des transformations pour homogénéiser les données et les rendre comparables.

Les essais ont été réalisés sur des sols à pH neutre ou basique

Arvalis et l'ITB étant des partenaires du projet, il a été décidé de travailler en priorité sur les céréales et la betterave sucrière. D'autres cultures (cola, tournesol, etc.) ont également été étudiées. Dans un premier temps, les cultures ont été traitées séparément, sans classement par niveau d'exigence.

Certains essais de longue durée n'ont pas pu être traités par manque de temps ou à cause de données manquantes mais pourront faire l'objet d'analyses supplémentaires. Quelques essais annuels restent également à traiter.

Peu d'essais fournissent des données sur les exportations de phosphore (analyses des teneurs en P dans les parties récoltées) et les analyses de terre correspondantes.

Globalement, il a fallu réaliser une typologie des données disponibles : faire un tri, faire des analyses supplémentaires, mettre au point des indicateurs et les tester, prendre en compte les essais annuels et travailler à partir de courbes de réponse au phosphore.

### **Remarque / Questions :**

DH : Cela peut être délicat de réunir des années avec des niveaux de rendement différents sur un même essai, car il y a des interactions possibles entre le niveau de rendement de l'année et le seuil. Cas observés dans le cadre d'essais sur l'azote. Les seuils pour les forts potentiels sont-ils les mêmes que ceux pour les faibles potentiels ?

PD : Effectivement, des interactions sont possibles surtout quand il y a des facteurs limitants. Mais dans ce cas précis, l'hypothèse de travail est de considérer que seul le phosphore est limitant. Dans le traitement des données, les années avec des problèmes de maladies impactant le rendement ont été exclues.

## Outils de traitement des données

Alain Mollier - INRAE

La mise en forme et le traitement des données a nécessité de choisir des modèles d'interprétation pour étudier les réponses des cultures. Quatre modèles analysant les données année par année et culture par culture ont été choisis afin de réaliser un ajustement des seuils par culture de la manière la plus précise possible, à l'échelle parcellaire.

Une seconde approche, utilisant des indices de rendement (regroupement de plusieurs années d'essais) déterminés à partir des asymptotes des modèles a également été étudiée pour ajuster les seuils par cultures et par site.

Les quatre modèles statistiques utilisés pour le traitement des données sont les suivants :

- Le modèle « linéaire-plateau » :
- Le modèle « quadratique-plateau »
- Le modèle « Mitscherlich »
- Le modèle « Cate-Nelson »

Le traitement des données a permis de mettre en place un outil en ligne auquel il est possible d'accéder avec des identifiants de connexion (s'adresser à l'équipe Juste P) pour tester un jeu de données, en respectant le format de la base de données du projet juste P.

Il s'agit d'un outil très générique qui permet de sélectionner les variables explicatives, les cultures, les années de récolte, etc.

L'ajustement des différents modèles se fait de manière automatique sur les données d'entrée (valeurs mesurées des différents paramètres), avec la possibilité de varier les paramètres pour trouver l'optimum. On obtient un seuil ajusté et des indicateurs de dispersion des points par rapport au modèle ajusté (RMSE).

### **Remarques / Questions :**

DH : il est possible d'avoir la tangente sur le modèle Mitscherlich pour avoir un optimum économique.

AC : effectivement, mais c'est également possible sur d'autres modèles. Cependant cela sort un peu du cadre des analyses réalisées dans le cadre du Juste P.

## Résultats et livrables (cf. diaporama pour plus de détails)

### **Tableau des valeurs brutes**

Teneur optimal au seuil d'impasse : uniquement basée sur les rendements, sans considération des risques de fuites vers l'environnement, ni du prix des engrais.

Les teneurs en phosphore aux seuils d'impasse ont été calculés selon les 4 modèles testés dans le cadre du projet.

Les seuils d'impasse varient en fonction du modèle. Le modèle Cate-Nelson donne le seuil le plus bas, suivi respectivement des modèles linéaire-plateau, quadratique-plateau et Mitscherlich<sup>95</sup>.

Tous les modèles donnent des résultats inférieurs aux seuils de la grille Comifer actuelle. Le tableau de simulation des seuils d'impasse par culture est extrêmement riche, et en cours d'amélioration pour en tirer le maximum d'informations.

### **Cas problématiques :**

Dans certains cas, il est difficile d'ajuster l'ensemble des modèles, ce qui rend difficile le traitement et l'interprétation des données avec des valeurs seuils complètement aberrants (environ 25%).

Les modèles peuvent aussi donner des réponses calculées sur peu de points, dont des points aberrants, engendrant des problèmes de stabilisation des modèles et donc à une absence de résultats.

### **Les seuils d'impasse : Variabilité modèle, année, site, culture**

Des tests de comparaisons de moyennes ont été réalisés pour évaluer la significativité des différences observées au niveau des seuils d'impasse calculés. L'effet des variables « type de modèle », « année », « culture » et « site » sur les valeurs moyennes des seuils a été comparé.

Sur un site donné, (Folleville, en l'occurrence), l'effet « modèle » l'emporte sur l'effet culture, bien qu'aucune significativité ne soit démontrée. On note en revanche un effet site, avec des seuils nettement différents à Feuges (sols avec un taux de calcaire non négligeables) : se pose donc la question sur la manière de définir les types de sols dans la suite du projet.

Sur le blé dur, il n'y a pas d'effet site entre Auzeville et Folleville.

Les différences sont aussi significatives en fonction de la culture (besoins en P et exigences variables)

Il sera donc utile, en fonction de l'orientation des travaux, de définir des critères pour construire des typologies de sols ; définir des seuils par culture selon le niveau d'exigence des cultures ; etc.

#### **→ Choix de la méthode de calcul du seuil d'impasse**

Une corrélation a été mise en évidence entre les modèles Mitscherlich et quadratique plateau (QP). En effet, ces deux modèles sont difficiles à discriminer sur la base de la qualité de l'ajustement et ils sont plutôt complémentaires. Cependant, le modèle QP donne des seuils plus élevés que le modèle Mitscherlich.

#### **→ Définition des classes d'exigence de fertilisation des cultures**

La suite des travaux nécessitera de définir une méthode afin de classer les cultures en fonction de leur niveau d'exigence.

La notion de seuil de renforcement, présent dans les protocoles des essais anciens n'est pas pris en compte dans les essais actuels. Se pose donc la question relative aux risques de se retrouver très en dessous de la dose recommandée (risque de carence, problèmes de remédiation).

Quelques propositions de valeurs seuils ont été présentées en fin de réunion (résultats provisoires)

### **Remarques / Questions :**

DH : Historique des apports ? Est-ce que c'est pris en compte dans l'exploitation des essais ? L'enchaînement des impasses a quand-même des effets sur la fertilité des sols.

PD : Finalement ce qui compte c'est ce qu'il y a dans l'analyse de sol ; la plante perçoit ce qu'il y a dans le sol.

DH : Analyse après ou avant fertilisation ? des teneurs du sol supérieures au P0 alors que le rendement va probablement baisser. L'analyse de terre ne prend pas en compte un facteur important qui est l'historique de fertilisation.

LJM : La baisse de rendement va faire déplacer le seuil vers la droite sur la courbe, donc d'une certaine manière cela est pris en compte

PD : la méthode des historiques de fertilisation n'est pas forcément étayée par des données scientifiques et le projet juste P n'en est pas forcément à supprimer complètement la méthode actuelle.

SS : A du mal à discerner les cultures exigeantes des autres ; concept difficile à comprendre et à utiliser. Avec une surprise hors sol carbonaté. Comment les types de sols vont être caractérisés ? Où en est la réflexion ?

GV : il y a encore pas mal de jeux de données à explorer ; l'idée est de continuer en ayant une typologie selon les réponses des cultures (dans un même type ou des types de sols différents). Teneurs en Argile, pH, CEC, etc. à utiliser pour essayer de regrouper des grands groupes en croisant culture, sol et indicateurs.

AM suggère de proposer un stage pour voir comment des approches par ACP ou CAH pourraient constituer une typologie en raccord avec celle qui émergerait des analyses réalisées dans le cadre de cette étude.

CLS : Vous disposez d'une richesse avec ces courbes de réponse, qu'il convient d'exploiter au maximum. Même si on peut regretter de ne pas y valoriser aussi les essais "anciens" (mais dont les courbes de réponse n'étaient pas si pertinentes). Restera donc à prendre des décisions et à extrapoler ces résultats : aux groupes de culture (ou pas), aux types de sol et aux régions.