



Comité Français d'Étude et de Développement
de la Fertilisation Raisonnée

Réunion du groupe de travail PKMg

12 juin 2024, 09h30 – 16h30, Présentiel à Paris

Participants :

NOM	Prénom	Structure
BODIN	Pauline	LCA Métiers du grain
BOUKRYM	Brahim	OCP
BRAUD	Armelle	CDDM
DAVID	Julien	Emc2
DEMAY	Joséphine	INRAE - UMR ISPA
DIEDHIOU	Khady	COMIFER
FONTAINE	Clément	Eurofins Galys
GENDRE	Charlotte	Aurea Agrosience
HANOCQ	Daniel	Ch. d'Agri. Bretagne
HEURTAUX	Mathilde	Acta
JORDAN- MEILLE	Lionel	Bordeaux Sc. Agro / INRAE
LACARCE	Eva	ITAB
LAFLEURIEL	Philippe	Oxyane
LE SOUDER	Christine	ARVALIS
LEBAILLY	Anne-Laure	Ch. d'Agri. France
MARX	Simone	ASTA-Service de pédologie
PITRAT	Thomas	Geocarta
RANOARISON	Sarah	LDAR
RHETY	Paul	Icosystème
STEFFEN	Maxime	Fertiberia France
TAUVEL	Paul	ITB
VERICEL	Grégory	ARVALIS
WITWTER	Raphaël	Agroscope

09h30 : début de réunion / tour de table

Actualités du COMIFER

Information sur les travaux récents et en cours dans le cadre de la réglementation nitrates et l'appui aux éditeurs de logiciels de plan de fumure azote.

Information sur la publication sur le site du COMIFER des actes des derniers évènements du COMIFER (Rencontres COMIFER-GEMAS et Journée Thématique). Information sur la prochaine journée thématique en cours de préparation sur le thème des produits organiques.

Retours sur l'activité des autres groupes de travail du COMIFER (SAB, NS, et FORBS).

Revue de littérature de l'année passée sur P, K et Mg impliquant des études INRAE, CIRAD, CNRS, Agroscope

(Lionel Jordan -Meille, Bdx Sc Agro)

→ Réponse des cultures aux situations de colimitation N & P Approches théoriques, expérimentales, mécanismes et modèles (Mounir Seghouani et al.)

Loi du minimum et situations de co-limitation entre 2 minéraux. Hypothèse : il faut au moins 2 éléments minéraux limitants pour observer un impact négatif sur le rendement de la culture.

Combinaisons testées : limitation simple : il n'y a qu'un facteur limitant / limitation successive : il y a un effet de synergie entre les 2 éléments, la présence de l'un impact positivement l'efficacité de l'autre / co-limitation simultanée : quand les 2 éléments sont seuls ils n'ont pas d'effet sur le rendement et leur combinaison donne un effet positif.

Exemple des légumineuses : besoin de P pour fixer N. Notion d'équilibre entre 2 éléments minéraux. Autre exemple : mobilisation par la plante de N pour fabriquer une protéine qui va permettre de libérer du P dans le sol. Il y a comme une forme de "vase communicant" entre éléments limitants.

Interactions visibles dans 2/3 des cas étudiés / co-limitation additives (synergies) plus fréquentes et la loi du minimum n'explique que 20% des cas.

MS : Les quantités de fertilisant apportées lors de l'expérimentation étaient non limitantes

DH : fait remarquer que les CRN sont en dessous de ce qui est attendu si le P est limitant (observé sur essai longue durée sur maïs).

→ Influence des couverts végétaux, caractérisés par leurs teneurs en C, N et P, sur la biodisponibilité du P et son prélèvement par les cultures (Nicolas Honvault et al.)

Effet de la culture intérimaire sur la nutrition en P de la culture principale suivante (raygrass). 6 cultures intermédiaires ont été testées sous serre. Les apports de P passent par l'intégration des résidus de cultures (parties aériennes) broyées, suivie du semis du Ray-grass. Le sol utilisé est pauvre en P, sans racines et sans débris.

Conclusion de l'essais : il n'y a pas d'effet significatifs entre les traitements, sur la libération de P par les feuilles des cultures intermédiaires. Voire même un effet dépressif sur les résidus de vesce. Le P contribue à l'absorption de N de la plante mais cela n'apparaît pas de manière nette

sur l'essais. Ce mécanisme s'explique par un effet de préemption : Le P immobilisé dans les microorganismes est d'autant plus élevé que le rapport C/P est élevé et très limitant. Ceci entraîne une faim de P.

BB : Dans la littérature le rapport C/P doit être inférieur à 200 pour avoir un effet positif du P.

DH : Les observations terrain montrent que le couvert est plus faible s'il y a une carence en P.

CLS : Il y a des travaux de Fardeau sur le sujet.

Réponse des cultures au potassium sous différentes situations pédoclimatiques. Conséquences pour les recommandations de fertilisation

(Raphaël Wittwer, Agroscope)

Objectif : proposer des seuils d'impasse les plus fins possibles établis en fonction des conditions pédoclimatiques prévalant en Suisse

Ce travail est réalisé dans un contexte de baisse des apports de K en France et en Suisse ces dernières années.

Le K est important dans la physiologie des plantes, leur statut hydrique et la croissance des racines.

Il y a une relation positive entre la pluviométrie et les teneurs en K du sol surtout en situations de carences en K (effet positif de la pluie sur le rendement). Cependant, si le sol est assez fourni en K, cette relation ne s'observe plus.

Les essais sont réalisés dans une région sans stress hydrique. Plusieurs méthodes d'extractions étaient possibles mais à l'AA-EDTA a été utilisée. Les résultats montrent que l'effet du pédoclimat est plus marqué que l'effet des apports répétés (modélisation avec le modèle Mitcherlich). Cet effet est aussi variable en fonction de la culture en place. Certaines cultures comme le maïs vont mettre à profit les conditions du milieu sans nécessairement réagir immédiatement aux apports.

Trois scénarios sont testés pour voir l'effet des seuils critiques sur le rendement. L'analyse des facteurs d'influence montre que la température influence très peu l'effet du K sur le rendement ; le pH joue un rôle important ; la teneur en argile influence beaucoup l'effet « environnement » et le taux élevé d'argile fait qu'il faut apporter plus de K contrairement à ce qui est recommandé dans la pratique (rétentions / biodisponibilité) (corrélation sur entre pH et calcium pas visible sur un des essais).

Les différences entre sites ont permis d'étudier l'effet du modèle dans différents contextes. Des seuils critiques ont été établis en fonction des conditions du milieu (argile, pH, pluviométrie, etc.) et l'intensité de fumure influence aussi les seuils critiques. Les recommandations peuvent donc être adaptées en fonction des informations pédoclimatiques mais il faudra au préalable caractériser les régions en fonction des critères de seuils.

DH : y a-t-il une prise en compte des hétérogénéités des taux d'argile au sein d'un même site ? → Les valeurs moyennes pour l'ensemble des co-variables (dont le taux d'argile) sont obtenues par parcelle

PL : est-ce que moins on fertilise, plus il faut en mettre ? → Oui : plus la valeur seuil est élevée, plus il faudra faire des apports.

LJM : quid du lien entre calcium et pH ? Il y a encore beaucoup de choses à creuser et plusieurs autres données à acquérir et peut être des effets de co-limitations à étudier.

CF : Y a-t-il des sols très argileux sur les 9 sites étudiés ? → Le sol le plus argileux va jusqu'à 40% d'argile.

DH : il y a un site avec un pH proche de 8 et un taux de calcium et magnésium très bas, cela peut donner de l'ambiguïté à l'interprétation des résultats.

CLS : Quid des teneurs du sol en K échangeable et l'interaction avec le pédoclimat au moment des prélèvements ? → Les résultats présentés ne concernent que les prélèvements à l'automne.

CLS : Peut-être voir si les sols sont plus ou moins secs et l'effet de cette sécheresse sur la disponibilité de K selon le taux et la nature des argiles.

Rôle des formes de P organique dans la disponibilité et l'acquisition du P par les plantes

(Issifou Amadou, UniLaSalle, Poitiers)

Objectif : prédire la disponibilité du P organique et son acquisition par les plantes. Comprendre la relation entre P organique et les autres éléments du sol / Interactions avec l'azote et le carbone organique.

Les modèles habituellement utilisés permettent difficilement d'évaluer la disponibilité du P organique. Il y a des formes de P différents du fait des apports organiques mais on ignore la manière dont ces formes interagissent avec les autres minéraux du sol.

Etude des dynamiques d'adsorption et de désorption et des facteurs qui vont influencer la disponibilité des formes organiques, en fonction des minéraux présent dans le sol. Les associations des cultures et les traits fonctionnels de ces derniers sont également prise en compte.

Les formes organiques s'accumulent que les formes inorganiques d'après la littérature mais les résultats de l'étude montrent des niveaux d'adsorption contrastés. La phytate est la forme la plus adsorbée. La désorption est déterminée par la force de liaison entre le P et les minéraux du sol et l'adsorption est déterminée par la surface.

Disponibilité des formes adsorbées pour la plante : Mise en place d'une expérimentation en mésocosme avec du Ray-Grass et étude des interactions entre P et N (ration N/P).

L'ajout d'azote a entraîné une augmentation de la limitation en P. Le degré de limitation est cependant variable selon les formes de P. Avec les formes organiques, une limitation systématique de la libération de P est observée en présence d'azote. Le degré de la limitation dépend de la nature du P apporté. La libération de phosphatase par les micro-organismes en présence de N induit une limitation de P.

Influence des stratégies d'acquisition de P par les plantes : expérimentation à partir 8 espèces qui ont des stratégies différentes (fabacées avec stratégies d'extraction, poacées et hydrophyllacées avec stratégies d'exploration). Mesure des traits

physiologiques et morphologiques des plantes. Les formes de P organiques sont mobilisées par les espèces avec des stratégies d'extraction et l'inverse est observé pour les espèces exploratrices qui mobilisent plus les formes de P inorganiques.

De façon général, la stratégie intermédiaire est plus corrélée avec l'acquisition de P par la plante.

LJM : comment on mesure les énergies de liaison ? → Cela a été fait en utilisant une modélisation qui donne la quantité de P absorbée par la plante et l'énergie de liaison associée.

DH : la forme organique du P va être mobilisé par les micro-organismes, mais il n'y a pas forcément des apports de formes inorganiques, sous hypothèse que la forme organique sera minéralisée. Quelle est la pérennité des formes organiques dans le sol ? → La pérennité va dépendre de la forme du P et de la manière dont il est adsorbé sur les minéraux du sol, mais il n'y a pas d'information sur la durée.

Dans les effluents d'élevage le P apporté est à 80% sous formes inorganique. Cependant, dans le protocole, les modalités « P organique » contenait uniquement du P sous forme organique. Dans les agroécosystèmes il a des interactions qui ne sont pas prises en compte dans les essais réalisés qui avaient pour objectif d'isoler les effets et comprendre les mécanismes en jeux.

Quid des minéraux et des formes de P choisi ? → Cela s'est fait en se basant sur la littérature.

CF : Question sur le choix du pH. → Un seul pH (5,5) a été choisi pour ne pas complexifier le travail et produire des données qui peuvent être comparées avec les données dans la littérature (pH KCl).

LJM : Relation inverse entre le P organique accumulé et le P-Olsen dans un essais de longue durée. Quelle hypothèse pourrait l'expliquer ? → Cela pourrait s'expliquer par la disponibilité du P total. On mesure du P qui ne serait pas lié au pool de P du sol car le P organique n'est pas vraiment mesuré dans la méthode P-Olsen.

CF : Autre méthode possible ? → Mesure du P diffusible (travaux de C Morel) pour quantifier les flux de P par datation en utilisant un dosage par dilution isotopique.

CF : procédures d'extraction plus douces / Méthode d'extraction CaCl des Néerlandais par exemple.

Point d'avancement sur le dossier de révision des seuils d'impasse en P

Lionel Jordan-Meille, BSA/INRAE / Pascal Denoroy, INRAE

Daniel Hanocq, CA Bretagne

Ce travail est jusque-là porté par Pascal Denoroy, qui s'appuie sur un sous-groupe de travail.

Recontextualisation et rappel des résultats présentés aux Rencontres de 2023.

Le modèle linéaire plateau a été choisi pour travailler sur les seuils car il présente moins d'inconvénients par rapport aux deux autres modèles testés (QP, Mitscherlich).

A présent, le sous-groupe dispose des jeux de données, des modèles, et des seuils d'impasse établis par Pascal Denoroy. Les regroupements en fonction des types de sol et des exigences des cultures conduisent à des valeurs seuils inférieures aux seuils actuels, mais en raison d'écart types très élevés au sein d'un même groupe de sol ou de culture, la prise en compte d'intervalles de confiance aboutirait in fine à adopter des valeurs proches de celles utilisées aujourd'hui.

2 options sont envisagées : utiliser les résultats obtenus à ce jour ou modifier les classes de types de sol et d'exigence des cultures pour redéfinir les seuils.

Quelques propositions de regroupements ont été discutés en sous-groupe pour affiner les valeurs de T_imp :

- Sur les sols : utiliser une relation qui lie le Timp au fer libre ; identifier la disponibilité de ces analyses dans les bases de données ; réaliser des conversions, utiliser les données du RMQS
- Sur les cultures : redéfinir les classes d'exigence.

Après définition des seuils, il faudra définir, au sein du groupe PK, les risques associés à ces seuils d'un point de vue pratique (risque d'un point de vue agriculteur, valeur ajoutée liée à l'apport, etc.).

Avec le départ à la retraite de Pascal, le sous-groupe propose d'étudier la possibilité de prendre un CDD de 3 mois pour travailler sur la question. En plus les financements des entreprises ne vont plus sur ce type de sujets.

Prise en compte des apports antérieurs dans le raisonnement des apports de P (D Hanocq)

Les apports antérieurs ne sont pas pris en compte dans le raisonnement pour les nouveaux seuils.

Présentation des données de l'essai de longue de Bignan (Bretagne). Essais mis en place en 1985 avec des teneurs assez élevées en P du sol, résidus de cultures souvent restitués, analyses P-Olsen.

Des ajustements sont réalisés pour avoir une valeur de P_Olsen par année.

On observe systématiquement que faire l'impasse du P ne change pas radicalement les rendements. Au fil des années, en présence de pois dans la rotation, le P0 décroche de manière homogène (baisse du seuil d'impasse). Sur le blé, le seuil a bougé au bout de la 15^e année. En comparant le P0 au P1, sur blé, les mêmes résultats sont observés (perte de rendement de moins de 10%). Pour le pois ou le maïs, les pertes de rendement arrivent assez vite et dépassent les 10%.

Le bilan des apports continue d'être excédentaire alors que cela ne se reflète pas sur la richesse du sol en P Olsen. Aussi, le cumul des années d'impasse semble impacter le rendement (faible biodisponibilité du P des apports précédents)

Comportement cumulatif du sol au fil des impasse observé sur les plantes mais cela n'apparaît pas sur les teneurs des sols si on regarde les P0. Le P1 reste stable dans le temps et le P2 hausse vite puis se stabilise.

Sur orge : identification de seuils avec un modèle bilinéaire. Seuil entre 70 et 105 mg de P205 Olsen. D'année en année, des effets cumulatifs des impasses sont observées et impactent les seuils.

Questionnement que cela soulève : est-ce que c'est la teneur en P Olsen qui est la conséquence d'un régime de fertilisation qui impacte le plus ou est-ce que c'est le régime de fertilisation

différencié qui impacte le plus ? Le régime antérieur de fertilisation semble être un facteur essentiel à prendre en compte. Il y a bien un impact de la teneur en P Olsen à prendre en compte également. Sur les préconisations actuelles, il n'est pas recommandé de faire plus de 3 impasses successives pour ne pas prendre de risque sur les rendements.

Sur le terrain, de façon pratique : les mesures du P par les analyses de sol semblent plus simples que l'estimation du P en fonction d'abaques de classification des sols (classes de sol, d'argile, compositions, etc.)

SM : l'effet des typologies d'argile sur la fixation et la libération du P semble important à prendre en compte ; selon le type de culture en place également.

LJM : Seuil de non-réactivité de la culture dans l'essai de Bignan, interprété comme seuil d'impasse dans les travaux de révision des seuils.

DH : Sol très fixateur sur l'essai de Bignan, pH de 6.

CLS : interprétation selon le type de sol ? ou abaque (de type d'argile par exemple) ? → Le premier a été utilisé historiquement.

Point d'avancement sur le dossier PhosphoBio

(Grégory Véricel, ARVALIS)

Cf. détails dans le PPF

Projet CASDAR démarré en octobre 2020 et en cours de finalisation : Le phosphore comme élément clé de la fertilité des sols en AB. Périmètre du projet : grandes cultures. Projet en 4 phases (cf. PPT).

Calculatrice sur les apports et les exportations.

Quelques résultats clés sur les enquêtes de pratiques culturales : teneurs en P en AB plus faibles qu'en conventionnel (comparaisons basées sur les données de la BDAT). Teneurs plus faibles sur les sols calcaires. Baisse des teneurs en P lorsque la fréquence des légumineuses dans la rotation augmente. Hypothèse : on apporte moins de P du fait de l'apport moins fréquent de produits organiques (vigilance à avoir sur les systèmes avec légumineuses).

Evaluation du seuil de réponse des cultures en AB au P à l'échelle bisannuelle : essais courbes de réponse au P, positionnement de seuils et comparaison aux seuils du COMIFER.

DH : on reste sur des gammes de valeurs seuils très basses (entre 10 et 35).

Exemple d'un dispositif avec des apports de N et P : tentative de définir 2 seuils par culture : seuil au-delà duquel il n'y a pas de réponse des cultures (en dessous de ce seuil des pertes de rendement sont quelques fois observées) et seuil en dessous duquel les pertes de rendement sont systématiques. Ces seuils sont assez cohérents avec les classes d'exigences actuelles des cultures.

Il y a environ 20% de perte de rendement si les apports de P sont trop faibles.

Sur le diagnostic végétal : calcul d'un indice de nutrition phosphatée sur le blé. Phosphore limitant selon que l'indice soit inférieur ou supérieur à 100. Positionnement selon les données de la bibliographie. Aussi, détermination d'un indice de rendement en fonction de l'indice de nutrition phosphatée. Identification de quelques seuils d'indices de nutrition en P selon la variabilité des données de

l'essai / relation entre indice de nutrition du blé et teneur en P du sol / contradiction entre l'analyse de sol et l'analyse de végétaux.

DH : les nuages de point semblent assez peu ajustés mais cela ne correspond pas forcément à une perte de rendement en dessous d'un certain seuil.

Test sur les légumineuses en se basant sur des données conventionnelles pour évaluer l'évolution des seuils. Ajustement d'un modèle pour définir les teneurs en P en fonction de la teneur en N. Calcul d'indices de nutrition en P qui varient entre 0,77 et 1,27.

Différentes méthodes de diagnostics et d'établissement des seuils ont été proposées. Les données ne permettent pas, pour l'instant, d'aller plus loin dans l'interprétation des résultats et la validation des indicateurs.

Présentation de quelques résultats d'essais systèmes : calculs de bilan de fertilisation et étude des corrélations avec les teneurs en P. Même quand les bilans en P sont positifs, les teneurs du sol diminuent et restent à l'équilibre. Etablissement de classe de CEC pour tenter d'expliquer les seuils en fonction de la nature du sol.

Le séminaire de clôture du projet phosphobio est prévu en novembre 2024 à Bordeaux.

Fin de réunion