



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

Réunion du groupe de travail PKMg

20 novembre 2024, 09h30 – 16h30, Présentiel à Bordeaux

Participants :

NOM	Prénom	Structure
ALBETIS	Johanna	Chouette Vision
BODIN	Pauline	LCA
BOUKRYM	Brahim	OCP
BUROSSE	Lionel	EVAGRO
DE REKENEIRE	Justin	OXYANE
DENOROY	Pascal	Retraité INRAE
DIEDHIOU	Khady	COMIFER
DROISIER	Sophie	COMIFER
DRUESNE	Marie-Anne	Chouette Vision
DUVAL-CHABOUSSON	Anne	Eurofins Galys
EL KANIT	Abdelmonim	OCP
FONTAINE	Clément	Eurofins Galys
JARDEL	Mathilde	Chambre Agriculture 33
JORDAN-MEILLE	Lionel	Bdx Sc Agro
MEROUGE	Isabelle	Consultante-formatrice
OURLIAC	Benjamin	Fertinagro
PERCEVAL	Marion	Fertinagro
PITRAT	Thomas	Geocarta
RHETY	Paul	Icosystème
RINGEVAL	Bruno	INRAE
TOURLIERE	Pierre-Yves	Timac-Agro
VERICEL	Grégory	Arvalis
VILLARD	Géraud	Duroure

En présence des étudiants de la Spécialisation d'Agroécologie de Bordeaux Sciences Agro.

✚ 09h30 : Début de réunion / Tour de table et actualités du COMIFER

✚ Limitation du phosphore à l'échelle mondiale

(Bruno Ringeval, INRAE)

Présentation des approches utilisées pour étudier la limitation du P à l'échelle mondiale : modèles de biosphère terrestre et modèles de culture spatialisés (ex : STICS)

- Prise en compte du contenu en P initial du sol
- Prise en compte des bilans et cumuls de P dans le temps

Les plantes prélèvent des ions orthophosphates qui ont une forte adsorption sur les particules de sol mais une faible concentration dans la solution du sol : le processus de diffusion est important car il permet le transport du P du sol vers la racine pour faciliter le prélèvement.

Carte mondiale des zones où le rendement est limité : dans 70% des cas de limitation, c'est lié à la nutrition en N et P des plantes.

Relation entre P du sol et rendement : complexe à appréhender car il est difficile de modéliser le cycle du P à l'échelle globale et disposer des cartes de P du sol à l'échelle mondiale. Difficile également de dissocier les interactions entre le P et les autres facteurs limitants à large échelle.

Limites des modèles mécanistes de gestion (GGCMs) : peu ou pas de représentation du P dans ces modèles ; modèles complexes qui rendent difficile la compréhension des interactions ; forte variabilité du rendement potentiel simulé par ces modèles.

Dans l'étude, développement d'une approche par modélisation mécaniste simple, indépendante des modèles mécanistes de gestion, pour simuler les interactions entre le P et les plantes à l'échelle journalière et à l'échelle mondiale. **Problématique étudiée : comment le P limite le rendement potentiel à l'échelle mondiale.**

Développement du modèle GPCrop sur maïs par couplage de 4 modèles :

- Un modèle qui simule la biodisponibilité du P dans les sols à l'échelle mondiale, en fonction des apports de P, les exportations et les changements d'utilisation des sols : bilans annuels de P simulant les différents pools de P dans les sols.
- Un modèle de dynamique du P dans le sol, basé sur une extraction chimique séquentielle qui évalue la teneur en P total du sol dans le but d'évaluer le réapprovisionnement en P du sol. Comparaison des données du RMQS et des données de la modélisation (pools de P labiles) sur une même maille.
- Un modèle de rendement potentiel de la culture (calé sur du maïs) avec en entrée des variables pédoclimatiques (température, rayonnement, etc..) et les dates de semis et récolte.
- Un modèle qui permet de reproduire l'allocation de C et P au sein de la plante, en estimant par unité de C issue de la photosynthèse la part qui va dans la biomasse aérienne et celle qui va dans la racine ; et pour le P la part du prélèvement total qui va dans les racines et celle qui va dans les feuilles. Objectif : intégrer les ajustements et compromis à l'échelle de la plante.

Différentes configurations sont testées :

- Cas où il n'y a pas d'interactions entre le P et la croissance de la plante
- Cas où il y a une interaction entre P et croissance de la plante, mais sans ajustements ou modulations par la plante

- Cas où il y a une interaction entre le P et le C et la plante est capable de mettre en place des mécanismes d'ajustement.

Ces mécanismes sont testés à 2 échelles : échelle de la parcelle agricole et échelles globales.

Sur le modèle avec des interactions mais pas d'ajustements : il y a un apport par les racines qui est plus faible que la demande. Ce qui décale la croissance de la plante dans le temps.

Cas où il y a interactions et ajustement : la plante met plus de C dans ses racines et baisse la concentration en P de ses feuilles, ce qui lui permet de réduire sa limitation de croissance dans le temps.

Actuellement le modèle induit une grande limitation du rendement potentiel. La limitation est levée dans certains cas lorsqu'il y a des ajustements.

Si le P est disponible, la modélisation permet une hausse de la concentration en P, ce qui induit une maximisation de la photosynthèse.

Le modèle avec ajustement reproduit mieux les données « terrains ».

Echanges :

En pratique, le rendement potentiel est limité par les apports de P des agriculteurs, avec prise en compte des autres facteurs limitants.

Suppression des oxydes de fer de l'analyse du modèle : effectuée car cette donnée était intégrée à la calibration du modèle mais elle n'est pas disponible dans tous les sites à l'échelle mondiale. Suppression effectuée pour homogénéiser les données.

Rôle des minéraux sur la croissance de la vigne et la qualité des raisins

(Lionel Jordan-Meille, Bordeaux Sciences Agro / INRAE)

Introduction sur les spécificités de la nutrition de la vigne et l'effet des carences ou excès sur la qualité de la vigne.

Vigne : culture pérenne avec une croissance et un développement racinaire continu dans le temps ; profondeur de prélèvement pas toujours évident à estimer ; interactions au niveau des cépages et portes greffes ; développement végétatif contrôlé (taillages, coupes) ; sols « contraints » par l'effet terroir ; production de molécules de protection en situation de stress (métabolisme secondaire).

Tableau de synthèse des critères recherchés en viticulture / exemple du pH : de faibles teneurs en N induiraient une hausse du pH, ce qui n'est pas un critère de qualité de la vigne. Avec la hausse du P, on a aussi une hausse du pH, ce qui n'est pas recherché non plus. La plupart des indicateurs de qualité en viticulture répondent négativement aux excès de nutriments.

Présentation de quelques données d'exportation de phosphore et d'azote des grappes, sarment, feuilles, etc. Comparaison de la vigne avec les flux exportés et prélevés par les grandes cultures (variables selon les restitutions au sol).

Pilotage de la fertilisation de la vigne par analyse de sols et de baies

(Lionel Burosse, EVAGRO)

EVAGRO : Société de conseil agronomique orienté à 80% sur le secteur viticole.

2 grands axes de travail : la relation sol/plante (basée sur des analyses de sol et de végétation) et des études agro-pédologiques (notamment la fertilité physique).

Rappel des 3 piliers de la fertilité des sols : fertilité physique, chimique, biologique ; et l'importance de bien prendre en compte les aspects biologiques et chimiques dans le raisonnement.

Sur vigne : conseils EVAGRO essentiellement basé sur les analyses de sols et les analyses foliaires (pétiole ou limbe) à floraison ou à véraison. Fréquences d'analyses variables selon les objectifs. Finalité : améliorer le rendement et la qualité.

Historiquement, N et P sont des facteurs de qualité : le N joue sur la vigueur de la vigne alors que le P joue sur l'acidité et le sucre des raisins et du vin. Existence d'une large bibliographie sur le N et le P mais peu d'éléments sur les autres nutriments qui ont quand même leur importance.

En général, on dit qu'il n'y a pas de carence en P en vigne, mais erreur probable sur certains types de sol et conditions pédoclimatiques. Le P joue un rôle important sur la nouaison et la nutrition hydrique par le biais de la croissance racinaire. Constat de résistance au mildiou sur les vignes bien pourvues en P. Le P augmente le degré et diminue l'acidité des vins. Le K quant à lui est un facteur de résistance au stress hydrique de la vigne par la régulation osmotique et la migration des sucres. Plus il y a de K, plus on diminue l'acidité des raisins et du vin. Le Mg permet d'homogénéiser la floraison et la maturité des grappes.

Le porte greffe impacte aussi la qualité de la nutrition de la vigne / beaucoup de mise en réserve de Mg et N par la vigne, moins sur P et encore moins sur K. Toxicité aluminique et en Mg dans certains pédoclimats du fait de la roche. Besoins variables en fonction du cycle.

Pour le pilotage, il faut avoir une approche systémique et raisonner les apports de P de manière globale et sur le long terme : important pour améliorer le pH et l'absorption des éléments nutritifs. Effet très important du porte greffe également (porte greffe adapté au sol et aux besoins du greffon).

Données d'absorptions en éléments nutritifs en fonctions des millésimes. / Présentation de chiffres globaux et tendances des teneurs en éléments nutritifs de la vigne. / Présentation de quelques stratégies de conseils sur la base d'un cas type sur une parcelle agricole (amélioration progressive du pH, de la teneur en calcium, de Mg, K, MO, etc. et du ratio K/Mg en baissant la teneur en K ; correction de carences ; etc.).

Les capteurs embarqués au service du pilotage de la fertilisation de la vigne

(Johana Albetis, Chouette Vision)

Chouette Vision : solution de pilotage de la vigne par modulation et cartographie / solution par capteur embarqué sur tracteur.

Une vingtaine d'experts qui travaille sur différentes régions viticoles, principalement en Champagne et à Bordeaux.

Recueil de plus de 40 millions d'images dans les parcelles viticoles, sur plus de 30 000 ha.

La solution permet d'aller de l'acquisition des images aux usages avec la production de conseils pendant tout le cycle végétatif de la vigne ; et proposition de bilans automatisés aux viticulteurs avec des cartes de modulation. Le stade de la floraison est le moment privilégié pour réaliser des passages.

Conception de matériels pour l'acquisition d'images ; création de cartes basées sur la largeur de la vigne ; possibilité de faire une modulation intra-parcellaire des apports avec un prestataire ; usage de l'IA pour détecter différentes carences comme celui en Fe ou Mg (exemple d'un cas de chlorose ferrique liée au porte greffe après investigation du viticulteur).

Chouette réalise le calibrage et l'installation des capteurs sur le matériel de réalisation des pratiques récurrentes en fonction des besoins de cartographie du viticulteur (matériel de pulvérisation ou de rognage). L'OAD permet de détecter les carences mais il ne permet pas encore de préconiser un conseil (besoin d'experts pour interpréter la donnée et produire des conseils). L'outil donne un constat sur l'état de nutrition de la vigne mais il faut des analyses complémentaires (sol, végétaux) pour définir le réel besoin de la plante. Par la suite, les agriculteurs auront la possibilité de choisir une cartographie en fonction de la carence qu'ils souhaitent corriger (basé sur un diagnostic préalable à la parcelle).

Exemple d'un cas pratique par vidéo de démonstration de l'usage de l'OAD.

Echanges :

Prise en compte des cépages ? de la taille ? de la largeur ? → Un calibrage par défaut est proposé par l'outil mais le viticulteur a la main pour l'ajuster en fonction de sa parcelle et ses pratiques.

Accompagnement du viticulteur pour l'utilisation de l'outil et l'ajustement des seuils. Cependant c'est le viticulteur avec son conseiller terrain qui décide de la dose finale à apporter à chaque parcelle.

Coût financier : coût fixe du capteur + environ 100 € / ha / an en illimité.

Beaucoup de viticulteurs déclenchent leur achat pour une meilleur gestion du mildiou.

Les inter-rangs et couverts sont également prises en compte par l'IA pour bien distinguer les plants de vigne du reste de la parcelle.

Détection des carences : plutôt ciblée en fonction de la zone.

Mieux vaut faire une analyse avant implantation pour prévenir des carences. De base la vigne vient de sols riches en fer d'où la récurrence des chloroses ferriques (lien entre calcaire actif et fer disponible,

Revue de la littérature sur les technologies liées aux engrais P (Weeks et al. 2019)

(Lionel Jordan-Meille, Bordeaux Sciences Agro / INRAE)

Cf. PPT.

Points abordés :

Phosphite et sa transformation en phosphate par les plantes : utilisé comme produit de biocontrôle en France. Technologie de substitution du P par d'autres substances chimiques.

Enrobage d'engrais solubles pour une diffusion lente dans le but d'améliorer son efficacité.

Phosphore bloqué dans les nano particules : le minéral va diffuser son P sur une distance très faible et le P ne se perd pas par « complexation » avec d'autres éléments ; il parcourt une faible distance et reste accessible pour les racines.

Utilisation d'un réseau de matières organiques super absorbant pour faciliter l'acquisition de P par les plantes. / Utilisation de roches phosphatées broyées.

Autres options : piégeage de cations de la solution du sol / biostimulation.

Résultats d'essais sur l'optimisation des apports de P

(Justin De Rekeneire, OXYANE)

Restitution d'essais menés au sein de la coopérative Oxyane : rappel des essais 2022 préalablement présentés au GT par Philippe LAFLEURIEL + présentation des essais 2024 par Justin de Rekeneire.

Objectif de la fertilisation starter : augmenter la disponibilité du P pour la plante dans le but d'améliorer sa vigueur au démarrage et une meilleure homogénéisation de la levée dans la parcelle.

Apports de P en localisés : cela permet généralement une meilleure efficacité sur maïs.

Rappel du dispositif de 2022 : essais en jardinière ; 2 cultures : maïs et colza ; 3 répétitions par type de sol. Objectifs : tester les réponses aux apports localisés de P ; tester les formes protégées de P ; tester les apports combinés avec du soufre ou du thiosulfate.

En 2022, évaluation de la quantité de matière fraîche en fonction des teneurs en P apportés : des réponses intéressantes sur colza et maïs pour l'azote. Sur le sulfate et le soufre élémentaire seul :

pas d'effets significatifs observés. Avec mélange de différentes formes de soufre + azote : hausse de la matière fraîche sur maïs.

Expérimentation reconduite en 2024 en sol alcalin sur lequel il y avait des résultats intéressants sur maïs. Courbes de réponse avec le DAP. Test pour vérifier si c'est un effet P, soufre, ou acidifiant.

Les Résultats ont donné des effets visuels assez marqués. Sur Colza, une réponse au P est observée et une synergie entre le P et le N également. Sur le thiosulfate et les autres formes de P, pas d'effet starter observée et pas d'effet de synergie non plus.

Sur maïs : pas d'effet significatif observé sur le rendement en 2024, mais l'apport de thiosulfate de P permet une augmentation de la matière fraîche. Des différences visuelles observées sur la vigueur sans que cela soit significatif. Hypothèse d'une potentielle synergie entre N et P sur maïs. Expression forte de l'assimilation du P sur maïs mais pas sur colza.

Echanges : vérifier les indices de nutriments en P (cf. travaux Phosphobio) / Visuellement pas de différences remarquables sur la taille des racines.

Efficiences de la fertilisation phosphatée du TOP PHOS

(Pierre-Yves Tourlière, Timac AGRO)

Présentation du groupe Timac Agro et son secteur d'activité (production de matières fertilisantes avec un volet commercial / partenariat avec les instituts de recherche).

Point sur l'évolution du statut phosphaté des sols. Rappel de l'importance d'éviter les mécanismes de blocage et rétrogradation. Importance aussi de maximiser le développement racinaire pour faciliter les prélèvements de P.

Des études ont montré qu'avec la co-compostation des phosphates naturels avec de la MO, on peut créer des humo-phosphates qui sont une façon naturelle de protéger le P. cela permet de protéger le P quand celui-ci ne peut pas être solubilisé de manière industrielle.

Lorsque le P est solubilisé de manière industrielle, il est soumis aux rétrogradations avec les autres minéraux du sol (Fe, Al).

Identification de substances humiques pouvant complexer le P pour améliorer sa biodisponibilité. Test de différents types de complexes de superphosphates avec des substances humiques afin d'étudier leur capacité à augmenter la teneur en P dans le blé. Choix du meilleur complexe de super P et association de celui-ci avec le P soluble. Présentation du processus de création du « superphosphate complexe ». Point sur la procédure de reconnaissance au niveau européen.

Tests agronomiques pour évaluer l'efficacité de ce nouveau complexe : comparaison du TOP PHOS avec son équivalent le superphosphate simple / validation par l'ANSES. Constat d'une meilleure efficacité du TOP PHOS en nutrition avec une hausse de la quantité de P dans la plante et une meilleure croissance des cultures. Sur les tests d'adsorption, la fixation du P sur les colloïdes est réduite. La rétrogradation du P Olsen observée est plus faible après utilisation du TOP PHOS. Le niveau de diffusion du P dans le sol est également limité pour réduire les blocages. Effet positif également observé sur la longueur des racines. Amélioration du CAU et de la dynamique de nutrition des plantes à faibles doses. TOP PHOS contient aussi un biostimulant qui

va agir sur la stimulation de la croissance racinaire (mesuré dans des serres de phénotypage et des rhizotubes). Dynamique d'acidification moindre car libération lente des molécules du TOP PHOS. Sur l'eutrophisation : pas de différences significatives observées.

Essais en parcelles agriculteurs prévus pour tester l'efficacité à grandes échelles / Essais Purpan / Gains de rendement dans 94% des cas sur des essais au Brésil.

D'autres technologies existent aussi pour des usages de P naturel dans les terres acides et prairies.

Echanges :

Effet sur la croissance racinaire : quelle est la part de la biostimulation et la part d'une meilleure diffusion du P dans la croissance racinaire ? → Difficile à dire sur TOP PHOS, mais sur physio PRO on sait que c'est uniquement l'effet biostimulant qui entre en jeu et qui a été homologué.

Tous les industriels utilisent la même matière humique. La particularité réside dans la quantité d'acide humique apporté, la taille des particules et les molécules créées lors des mélanges.

Lien entre la concentration et la quantité de P apportée à la plante ? → Il y a un vrai effet de la localisation mais il faut aussi tenir compte des besoins de la plante.

Fertilisation ultra-localisée / Additifs / Biostimulants

(Marion Perceval & Benjamin Ourliac, Fertinagro)

Présentation de Fertinagro et ses partenaires de R&D. Entreprise présente dans 80 pays et travaillant sur les engrais minéraux et organiques ainsi que les biostimulants.

Travaux sur des objectifs d'efficience par prise en compte du milieu dans son ensemble. Prise en compte des facteurs biotiques et abiotiques pour améliorer l'efficacité d'utilisation des nutriments.

Présentation du règlement UE et travaux sur le P solubilisé. Reproduction au labo de biostimulants sur la base d'exsudats racinaires permettant une meilleure solubilisation du P afin de le rendre plus disponible dans le temps. Additif agronomique validé par des essais et une AMM délivrée par l'ANSES.

Additif agronomique élaboré à partir du P qui va être solubilisé puis protégé par des substances organiques, avant d'être libéré graduellement vers les racines afin d'avoir un environnement favorable pour la nutrition de la plante. Le produit a un effet positif sur le rendement du maïs (essais annuels réalisés aux USA). La variation du pH exerce une influence sur l'utilisation du biostimulant, ce qui permet de définir des plages d'utilisation du produit. Faible mobilisation de la MO.

Présentation d'un autre additif agronomique validé par l'ANSES à base de substance humique et pouvant être rajouté à différentes formations de N-P-K. La substance agit sur le complexe argilo-humique et stimule la croissance racinaire.

Présentation de quelques essais réalisés en parcelles agriculteurs avec la formule Humitech : meilleurs résultats et meilleurs systèmes racinaires avec l'apport de HumiTech. En ultra localisation (apport du P au plus proche de la racine pour faciliter son assimilation) : effet starter plus rapide.

Echanges : pas de phytotoxicité observé / beaucoup moins d'azote apporté comparé aux micro granulés / même si les quantités apportées ont tendance à augmenter, il y a plus de risque de toxicité avec l'ultra localisation de l'urée comparé aux micro granulées.

Fin de réunion. Prochain RDV : Juin 2025 à Paris