



Fertilisation en phosphore des céréales

Le phosphore dans le milieu naturel

> **Un élément essentiel**

Le phosphore entre dans la constitution des tissus où il joue un rôle important dans le stockage et le transfert d'énergie. Il est donc essentiel à la vie humaine, animale et végétale. Le phosphore est avec l'azote et le potassium, l'un des trois nutriments indispensables à la croissance des végétaux. Il est concentré dans la partie superficielle du sol, sous forme minérale ou organique. Le phosphore minéral provient de l'altération des roches, tandis que le phosphore organique résulte de la dégradation des végétaux par la faune et la flore du sol. Ces formes de phosphore ne sont pas immédiatement disponibles pour les plantes. Seul le phosphore en solution dans l'eau du sol peut être prélevé par les racines des plantes, soit moins de 0,5 % du phosphore total.

> **Un impact environnemental en cas d'excès dans le milieu**

En excès, le phosphore contribue à la pollution de l'environnement en favorisant l'eutrophisation des eaux de surface, un phénomène caractérisé par la prolifération d'algues. L'eutrophisation constitue une sérieuse menace réduisant les usages de l'eau et la qualité de l'eau potable. Les sources de phosphore dans les eaux de surface proviennent de processus naturels comme l'érosion, le ruissellement et l'infiltration. Les apports de fertilisants phosphatés peuvent contribuer de manière spécifique aux transferts de phosphore dans les eaux de ruissellement et de drainage, d'autant plus si les épisodes pluvieux responsables des écoulements surviennent tôt après les apports. En France, 25 % des rejets de phosphates dans la nature sont attribués à



l'agriculture, 25 % à l'industrie et 50 % à l'activité domestique. Les 2/3 de la pollution aux phosphates d'origine domestique sont liés à l'emploi de détergents.

> **Des réserves minérales épuisables**

Le phosphore est principalement utilisé comme fertilisant. Il est aussi employé en nutrition animale et dans la fabrication des lessives et détergents. Les engrais minéraux sont obtenus par traitement industriel de phosphates issus de gisements naturels. Exploités principalement au Maroc (45 %), en Chine (28 %) et aux Etats-Unis (7,5 %), ils pourraient être épuisés d'ici cent ans selon l'US Geological Survey. La moyenne nationale des livraisons d'engrais phosphatés a baissé de 31 à 10 kg de phosphore par hectare fertilisable entre 1972 et 2008 (source Unifa, Union des Industries de la Fertilisation). Cette baisse s'explique par l'amélioration des pratiques agricoles : utilisation des analyses de terre pour suivre la fertilité des sols, fertilisation raisonnée. L'augmentation du coût des engrais y a également contribué.

La réduction de l'impact environnemental du phosphore dans les sols passe notamment par l'équilibre de la fertilisation phosphatée par rapport aux besoins des cultures et l'amélioration du recyclage du phosphore lors du traitement des boues d'épuration.

Glossaire

> Les formes de phosphore dans le sol

Le phosphore (P) est presque entièrement dérivé de l'altération des phosphates de calcium des roches. Le phosphore est surtout présent en solution dans le sol sous forme d'ions orthophosphates directement assimilables par les plantes : c'est le phosphore dissous qui résulte pour l'essentiel du ruissellement et du lessivage. Il peut aussi être attaché aux particules de sol ; cela implique qu'il doit s'en détacher pour passer en solution. Il s'agit alors de phosphore particulaire, transporté par des ruissellements érosifs chargés de particules.



Les sols cultivés contiennent des réserves en phosphore souvent importantes. Mais tout n'est pas immédiatement disponible pour la plante. La fraction présente dans la solution du sol à un instant donné est très faible :

le phosphore absorbé par le flux d'évapotranspiration ne représente que 2 à 3 % du prélèvement total de la culture. L'essentiel du phosphore absorbé par les cultures provient du déstockage de phosphore adsorbé sur la matière organique et le complexe argilo humique. Lorsque le sol ne peut réalimenter suffisamment vite la solution en raison d'une trop faible disponibilité de ces

éléments, l'apport d'engrais est nécessaire pour que les besoins des plantes soient satisfaits. L'absorption du phosphore par les plantes dépend donc essentiellement des possibilités de désorption (passage de la phase solide vers la solution du sol) des ions phosphates et de l'aptitude des racines des plantes à coloniser le sol pour pouvoir exploiter la réserve biodisponible.

> Rôle du phosphore

L'acide phosphorique : son action se concentre sur les racines dont il assure le bon développement. Il favorise également la résistance aux maladies et la fécondation (donc floraison, reproduction et fructification). Cet élément bénéficie particulièrement aux légumes, aux fruits, aux arbres fruitiers et aux plantes à fleurs.

L'essentiel du phosphore prélevé par les cultures cultivées pour le grain (blé, maïs, colza, tournesol...) est présent dans le grain et est donc exporté.

> Le raisonnement de la fertilisation en phosphore

Les bases de la fertilisation du phosphore (et de la potasse), établies par le Comifer (Comité Français d'Etudes et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) reposent sur quatre critères : l'exigence des espèces cultivées, l'analyse de terre, le passé récent de fertilisation, la restitution ou non des résidus de la culture du précédent.

Les grands principes de la fertilisation en phosphore

Les bases du raisonnement de la fertilisation en phosphore consistent à compenser les exportations des cultures par des apports selon :

> deux critères principaux

- La teneur de l'élément dans le sol : si la teneur est faible, l'apport préconisé sera supérieur aux exportations de la culture. Si la teneur est élevée, l'apport préconisé sera inférieur aux exportations de la culture. Il pourra même être nul (impasse).
- L'exigence de la culture en phosphore. Les essais longue durée mis en place ont permis de classer les principales cultures en fonction de leur capacité à puiser dans le sol l'élément dont elles ont besoin.

> deux critères supplémentaires

- La fertilisation minérale ou organique apportée les deux dernières années afin de prendre en compte les impasses ou les excès d'apport.
- La restitution des résidus de la culture précédente.

> Les méthodes d'analyses du phosphore du sol

Trois méthodes d'analyses existent pour évaluer la teneur en phosphore du sol :

| Méthode | Réactif | Caractéristiques |
|--------------|-----------------------|--|
| Dyer | Acide citrique 2 % | Adaptée aux sols de pH inférieurs à 6,5. C'est la méthode de référence des tableaux de préconisation. |
| Joret-Hébert | Oxalate d'ammonium | Adaptée aux sols de pH supérieurs à 6,5. |
| Olsen | Bicarbonate de sodium | Extrait une partie plus faible du phosphore du sol. Utilisation possible pour une large gamme de sols. |



Ces trois méthodes se distinguent par leur différence d'agressivité vis-à-vis du phosphore du sol et les quantités extraites se classent toujours de la même façon : OLSEN < JORET-HEBERT < DYER. Il a été montré que les réactifs oxaliques de JORET HEBERT et citriques de DYER extrayaient en plus grande quantité des formes de phosphore du sol ou des engrais fraîchement introduits, peu ou non mobiles. La méthode permettant de mieux rendre compte du phosphore assimilable est la méthode OLSEN, notamment en sol calcaire. Cet ensemble de résultats conduit à considérer l'emploi de la méthode OLSEN en analyse de routine, malgré les limites aperçues dans le cas de sols acides. Dans un spectre de sols plus étroit, les autres méthodes peuvent donner des résultats équivalents voire supérieurs (exemple de la méthode DYER dans les milieux acides).

Ainsi, une méthode donnée est rarement universelle. Chacune possède un domaine de validité qui doit être complété par la prise en considération des possibilités réelles d'accès à des réserves facilement mobilisables.

> L'exigence des cultures

Tableau : classement des cultures selon leur exigence.

| Niveau d'exigence de la culture | Phosphore |
|---------------------------------|--|
| Très exigeante | Betterave, colza, luzerne, pomme de terre |
| Moyennement exigeante | Blé sur blé, blé dur, maïs fourrage, pois, orge, ray-grass, sorgho |
| Peu exigeante | Avoine, blé tendre, maïs grain, seigle, soja, tournesol |

> Préconisations d'apports en acide phosphorique (kg/ha de P₂O₅).

En 2009, de nouvelles grilles de calcul de doses en phosphore ont été publiées par le Comifer. Ce travail s'est appuyé sur l'analyse détaillée d'un grand nombre d'essais longue durée conduits en France, ainsi que sur une enquête générale auprès des membres du Comifer. Au final, beaucoup de teneurs utilisées jusqu'à présent sont revues à la baisse. Par exemple, on considérait jusqu'alors qu'un blé exportait 0,9 kg de P₂O₅ par quintal de grain. La nouvelle table donne désormais 0,65 kg de P₂O₅/q. Le Comifer a établi un calcul de la dose de phosphore conseillée :

Dose P₂O₅ conseillée (en kg/ha) =

Coefficient multiplicatif des exportations x rendement prévu x teneur en P₂O₅ dans les exportations avec un supplément éventuel dû aux exportations de résidus du précédent.

> Formes d'engrais minéraux

De très nombreux types d'engrais phosphatés sont actuellement commercialisés. Dès qu'un engrais phosphaté, quel qu'il soit, est enfoui dans la terre, une compétition s'instaure entre sol et plante pour le phosphore présent dans l'engrais. L'année qui suit l'enfouissement, la plus faible partie de l'apport rejoint la culture et la plus forte partie intègre le phosphore biodisponible du sol.

La répartition de ce phosphore entre la plante et les compartiments du sol dépend :

- de la quantité apportée
- de la forme chimique sous laquelle il est enfoui
- du pH et du pouvoir fixateur du sol
- du rendement de la culture
- du temps de contact entre le sol et l'engrais

Pour qu'un engrais phosphaté contribue de manière significative à l'alimentation des plantes, sa solubilité doit être supérieure à celle des phosphates du sol. Les phosphates d'ammonium et les superphosphates ainsi que le phosphate bicalcique sont utilisables dans tous les types de sol. Les scories sont à réserver aux sols acides parce que le phosphore qu'elles contiennent y est plus soluble. Les phosphates naturels sont à déconseiller dans tous les types de sol car la libération du phosphore dans la solution du sol est plus lente et plus faible que pour les autres formes.

> Intérêt de la fertilisation du phosphore en localisé sur céréales

L'ion phosphate est peu mobile. S'il ne se trouve pas à proximité des racines, il est difficile pour la plante de l'absorber. Toutes les cultures sont à priori concernées par une localisation au semis. La pertinence de la technique est d'autant plus grande que la culture est exigeante et que les teneurs à l'analyse de sol sont basses. La spécificité des cultures vis-à-vis du développement racinaire (vitesse de croissance, largeur de l'inter-rang) est aussi à prendre en compte. Dans ce contexte, les céréales à paille présentent à priori une faible sensibilité racinaire à la localisation (inter-rang étroit, système racinaire performant).



Résultats d'essais : fertilisation du blé tendre en phosphore en sortie d'hiver

En 2013, l'intérêt d'un apport de phosphore en sortie d'hiver sur blé tendre dans un contexte d'implantation difficile a été expérimenté (**Arvalis-Institut du Végétal en partenariat avec les Chambres d'agriculture des Pays de la Loire, Caliance**). La pluviométrie très importante en octobre 2012 (deux fois supérieure à la moyenne mensuelle) a fragilisé l'implantation pour les semis d'octobre tout juste réalisés. L'objectif était d'évaluer l'intérêt d'apporter du phosphore au tallage des blés en complément de la fertilisation azotée.

> Protocole expérimental

| Modalité | Produit | Dose (en kg P ₂ O ₅ /ha) | Stade |
|----------|----------|--|-----------------------|
| P0 | - | 0 | Pas d'apport |
| P30 | Super 45 | 30 | Tallage (fin février) |
| P60 | Super 45 | 60 | Tallage (fin février) |

Un réseau de 11 essais (dont 6 en Pays de la Loire) en 2013 (localisation et teneur en P₂O₅ ci-après).

Cumul des précipitations 01-10-2012 au 01-03-2013 (en mm)

Montigné-Le-Brillant (53) - Caliance

Limon - sol hydromorphe

50 ppm P₂O₅ Joret-Hébert

Les Mées (72) - CA 72

Limon argileux - sol sain

213 ppm P₂O₅ Joret-Hébert

Derval (44) - CA 44

Limon argilo sableux - sol hydromorphe

57 ppm P₂O₅ Olsen

La Jaillière (44) - Arvalis

Limon sablo argileux sur schistes - sol hydromorphe

49 ppm P₂O₅ Olsen

Ambillou-Château (49) - CA 49

Argile sableuse - sol sain

16 ppm P₂O₅ Olsen

Aubigny (85) - CA 85

Sables - sol hydromorphe

460 ppm P₂O₅ Dyer

Issigeac (24) - Arvalis

Argilo-calc sup/calc dur fissuré

26 ppm P₂O₅ Olsen

St-Antoine-de-Ficalba (47) - Arvalis

Alluvions limono argileuses

60 ppm P₂O₅ Olsen

Montans (81) - Arvalis

Boulbènes profondes

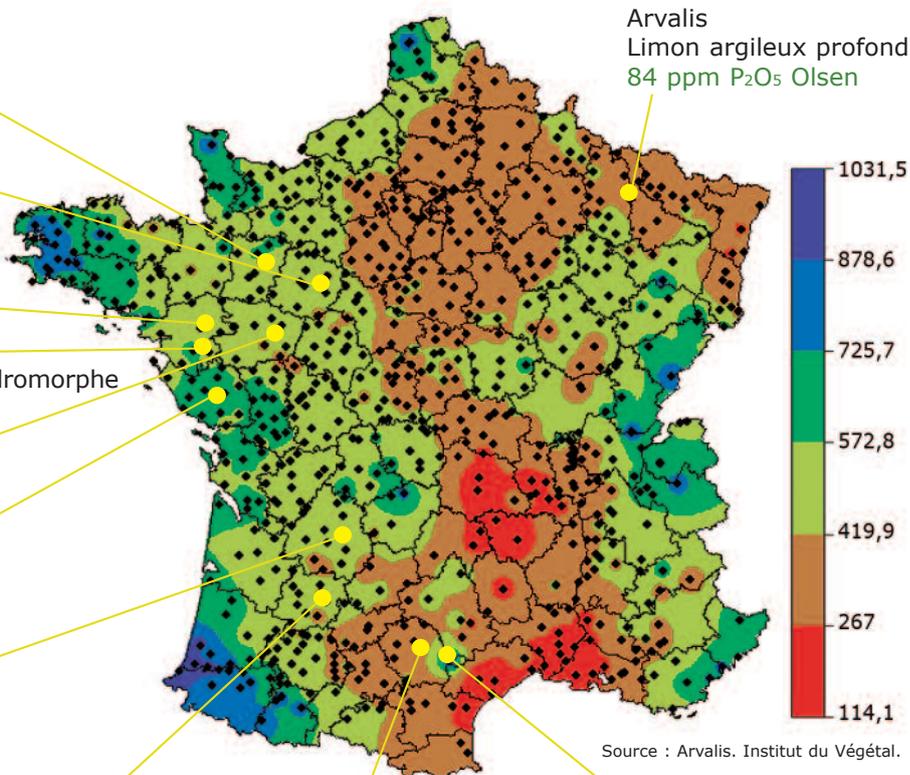
49 ppm P₂O₅ Olsen

Salvagnac (81) - Arvalis

Argilocalcaires profonds

26 ppm P₂O₅ Olsen

56 kg P₂O₅/ha à l'automne



Des essais avaient également été conduits en 2011-2012 (campagne caractérisée par une pluviométrie hivernale inférieure aux moyennes) soit un total de 17 essais sur les 2 campagnes culturales. Les enseignements sont :

- 5 essais sur 17 ont une réponse positive à l'apport de phosphore. Ces cas correspondent notamment à des situations où la teneur de départ dans la parcelle était faible.
- l'écart de rendement observé n'est pas en relation avec la pluviométrie hivernale.

En conclusion :

En situation d'implantation difficile, il n'y a pas eu de gain de rendements significatifs observés dans la majorité des essais du réseau suite à un apport de P₂O₅ au tallage du blé.



> Essais fertilisation en Sarthe en 2006-2007

Un essai fertilisation conduit sur Ancinnes (sol argilo-calcaire superficiel à faible réserve hydrique) avait pour objectif de comparer divers produits commerciaux à dose en azote identique pour toutes les modalités : dose X. Le but était d'évaluer l'intérêt de différents produits et notamment le Duofertil 20-12 qui contient du phosphore. L'analyse de sol est de 0,205 g/kg de P₂O₅ (méthode

Joret-Hébert). La présentation suivante ne fait état que d'une partie des produits testés :

- Duofertil 20-12 : 20 % d'azote + 12 % de phosphore + 20 % de soufre + 6 % de Magnésie
- Ammonitrate : 33,5 % d'azote.
- Sulfate d'ammoniaque : 21 % d'azote, 60 % de soufre.

> Protocole expérimental

| Modalités | Epi 1 cm (2/03) | 2 Nœuds (27/03) | Gonflement | Total U de N | Total U de SO ₃ | Total U de P ₂ O ₅ | Total U de MgO |
|------------------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------|----------------------------|--|----------------|
| Sulfate d'ammoniaque + Ammonitrate | 225 kg d'ammonitrate + 67 kg de sulfate d'ammoniaque | 120 kg ammonitrate | 120 kg ammonitrate | 170 | 40 | 0 | 0 |
| Duo fertil 20-12 + Ammonitrate | 33 kg d'ammonitrate + 400 kg de 20-12 | 120 kg ammonitrate | 120 kg ammonitrate | 170 | 80 | 48 | 24 |
| Ammonitrate | 270 kg ammonitrate | 120 kg ammonitrate | 120 kg ammonitrate | 170 | 0 | 0 | 0 |

> Résultats

| Modalités | Rendement en q/ha | Test Newman Keuls sur rendement | Taux protéines (%) | Coût de fertilisation en €/ha | Rendement économique en q/ha (1) | Test Newman Keuls sur rendement économique (2) |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|
| Sulfate d'ammoniaque + Ammonitrate | 72 | A | 12,9 | 123 | 65 | A |
| Duo fertil 20-12 + Ammonitrate | 68,2 | AB | 12,6 | 207 | 56,5 | BC |
| Ammonitrate | 59,9 | CD | 12,3 | 117 | 53,3 | BC |

Ecart-type sur rendement : 3,3

(1) : rendement brut à 15 % d'humidité – quintaux nécessaires pour payer la fertilisation (sur la base d'un blé à 175 €/t)

(2) : hors coût de passage

Des différences de rendement existent et sont significativement différentes d'un point de vue statistique, y compris au niveau du rendement économique. Le programme avec le sulfate d'ammoniaque se démarque dans cet essai, notamment au niveau du rendement économique. En terme de rendement, la modalité avec le Duofertil 20-12 n'est pas significativement différente de la modalité avec le sulfate d'ammoniaque. Par contre, ces deux modalités réalisent un rendement significativement supérieur à l'ammonitrate seul. Il semble donc que le phosphore apporté par le Duofertil n'apporte pas de plus par rapport à une modalité comportant aussi du soufre (et même avec moins de soufre apporté que dans le Duofertil 20-12). Le gain de rendement du Duofertil par rapport à l'ammonitrate seul semble donc plus dû au soufre qu'au phosphore. Cependant, cet essai ne permet pas de le conclure formellement car la comparaison élément par élément à dose équivalente n'a pas été effectuée. On peut

simplement conclure sur des différences entre ces produits composés. En terme de rendement économique, il n'y a pas de différences significatives entre la modalité ammonitrate seul et la modalité avec le Duofertil 20-12. Le surcoût de fertilisation du Duofertil 20-12 est compensé par le gain de rendement.



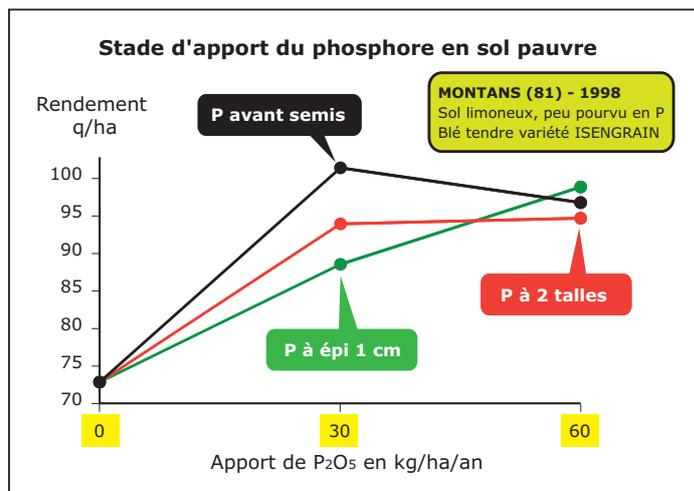


> Essai phosphore en Vendée

Des essais phosphore longue durée ont été menés en marais de 1990 à 1998 sur différents sites : Chaillé les Marais, Grues, Le Gué de Velluire. Dans ce contexte particulier de terres de marais, les méthodes d'analyse de sol classiques ne permettent pas de mesurer le phosphore. Le but de ces essais longue durée était donc d'évaluer l'intérêt d'un apport minéral de phosphore, dans des sols où la teneur initiale n'est pas connue. Sur blé dur, le protocole consistait à comparer un apport de phosphore de 80 unités sous forme de Super 25 en sortie d'hiver avec un témoin sans apport de phosphore. Sur le site de Grues, aucune différence statistique liée à l'apport d'acide phosphorique n'a pu être observée sur 8 ans. Pour le Gué de Velluire ou Chaillé les Marais, l'apport d'acide phosphorique a mis en évidence un gain de rendement uniquement lorsque les conditions d'implantation n'étaient pas satisfaisantes (sol soufflé). Dans ce cas, il était observé un meilleur enracinement et un meilleur tallage pour la modalité avec acide phosphorique.

En définitive, dans ce contexte de marais, il n'a pas été mis en évidence d'intérêt d'un apport de phosphore sur céréales lorsque l'implantation de la culture est correcte et que les interventions culturales sont réalisées dans de bonnes conditions.

> Essai sur le positionnement de l'apport de phosphore



Source : Arvalis-Institut du Végétal

Cet essai réalisé à Montans (81) par Arvalis en 1998 sur blé tendre d'hiver sur un sol peu pourvu (teneur en P Olsen de 20 ppm) met en évidence un effet date d'apport. Dans le cas de sols pauvres en phosphore, un apport avant semis est mieux valorisé qu'un apport à 2 talles. En effet, c'est au stade jeune que les plantes sont les plus sensibles à une carence en phosphore.

L'avis de nos spécialistes

Les différentes synthèses d'essais ne mettent pas en évidence l'intérêt d'une fertilisation en phosphore des céréales en sortie d'hiver, sauf dans le cas de sols déjà pauvres au départ. L'analyse de sol est le premier pas vers une gestion équilibrée du phosphore et la correction à apporter est à raisonner sur la rotation en fonction de l'exigence de la culture vis-à-vis de cet élément. Pour les cultures à faible exigence comme les céréales, l'impasse est souvent possible dans des sols à bonne réserve miné-

rale, ce qui est notamment souvent le cas quand des effluents organiques sont apportés régulièrement.

Par ailleurs, d'autres facteurs jouent sur la valorisation des apports de phosphore, notamment la structure du sol et le pH. Ces deux critères sont donc un préalable indispensable à respecter : un pH trop faible ou trop élevé peut bloquer la libération du phosphore et un mauvais contact entre le sol et les racines ne permettra pas une absorption du phosphore car celui-ci est peu mobile.





Perspectives

L'intérêt économique d'apporter du phosphore sur céréales est rarement atteint pour différentes raisons :

- le coût élevé de l'intrant sous forme minérale. L'éventuel gain de rendement est la plupart du temps insuffisant pour couvrir la dépense minérale supplémentaire.
- le faible niveau d'exigence de la céréale vis-à-vis du phosphore
- une teneur en phosphore du sol permettant l'impasse, notamment dans les situations où des effluents organiques sont régulièrement épandus.

L'intérêt agronomique d'apporter du phosphore en sortie d'hiver sur céréales est également limité du fait du faible niveau d'exigence de la culture et d'une meilleure valorisation avant semis plutôt qu'en sortie d'hiver. En effet, la gestion du phosphore se raisonne sur la rotation et les essais longue durée ont permis de mieux évaluer différents régimes de fertilisation phosphatée sur le long

terme. La poursuite de ces essais est le meilleur moyen d'affiner les règles de décision. Réaliser des impasses peut faire craindre une baisse de teneurs des sols en phosphore qui pénaliserait les cultures. Les essais longue durée conduits en Pays de la Loire (St Fort en Mayenne et plusieurs sites en Sarthe) ont montré qu'en régime d'impasse, les baisses de teneurs du sol sont très lentes. Le renforcement de la fumure ne se justifie que pour des cultures très exigeantes et en sols insuffisamment pourvus d'où l'intérêt de connaître la teneur en phosphore de ses sols via une analyse, indicateur incontournable pour piloter la fertilisation phosphatée.

L'apport d'engrais minéral, dans des conditions de stock important de phosphore, n'impliquera pas de gain de rendement ou de qualité. Ainsi, l'apport de phosphore doit être réalisé pour maintenir la fertilité des sols et non pour faire de la "vieille graisse".

Paroles d'agriculteurs : témoignage de Jean-Marc GRASSINEAU GAEC LA FROGERIE 85430 AUBIGNY



Le GAEC LA FROGERIE implante environ 60 ha de blé tendre tous les ans. Les sols sont à dominante sablo-limoneuses. Le contexte très pluvieux de l'automne 2012 (440 mm à La Roche-sur-Yon d'octobre à décembre) a entraîné de très mauvaises conditions d'implantation des céréales. En sortie d'hiver, le faible enracinement et le retard de développement posait la question d'un apport de phosphore en sortie d'hiver, notamment pour améliorer l'enracinement.

C'est dans ce cadre qu'un essai a été mis en place chez Jean-Marc GRASSINEAU : "Je n'apporte pas de phosphore habituellement en sortie d'hiver mais uniquement une fertilisation azotée et parfois j'apporte aussi du soufre en

complément. Il est vrai que cette année, on se demandait si un apport starter sous forme de 18/46 pouvait avoir un intérêt. La difficulté quand on apporte un élément minéral supplémentaire par rapport à nos pratiques habituelles est de déterminer si le gain de rendement est dû à cet apport ou à d'autres facteurs. De plus, l'effet année joue également. C'est pourquoi un essai permettait de mesurer l'effet du phosphore de manière plus précise".

La parcelle d'essai mise en place par la Chambre d'agriculture de Vendée, conduite dans le cadre d'un réseau d'essais Arvalis, reçoit du fumier tous les 2 à 3 ans et présente un niveau de phosphore élevé : 0,455 g/kg (méthode Dyer). Des apports de phosphore sous forme de superphosphate à 30 et 60 U de P_2O_5 ont été comparés à un témoin sans phosphore. Toutes les modalités ont été conduites avec une fertilisation azotée identique. En définitive, un effet visuel était noté courant montaison et l'analyse statistique a mis en évidence un gain de rendement pour les modalités avec phosphore. Cependant, au niveau de la marge brute, il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. Le léger gain de rendement permet juste de compenser le coût de l'apport de phosphore supplémentaire.

D'autre part, sur la même parcelle d'essai, une comparaison entre une conduite avec un apport tallage sous forme de 18/46 et sous forme d'ammonitrate n'a pas mis en évidence de différences significatives sur le rendement et la marge.



Références bibliographiques

- Chambre d'agriculture de la Vendée, août 2013. *Rendez-vous cultures. Fertilisation des céréales. Résultat d'essais.*
- Chambre d'agriculture de la Vendée, 1997. *Essais P₂O₅ longue durée.*
- Chambre d'agriculture de la Sarthe, octobre 2007. *Moissons 2007. Tome 1. Essais Fertilisation blé tendre d'hiver.*
- Arvalis-Institut du Végétal. Journée techniciens, Nantes, 6 novembre 2013. *Phosphore : modes d'apport et résultats d'essais.*
- Arvalis-Institut du Végétal, 2005. *P-K Fertilisation P-K. Raisonner pour agir.*
- Pôle Agronomie Productions Végétales des Chambres d'agriculture de Bretagne, janvier 2012. *La fertilisation phosphatée et potassique en grandes cultures.*
- La lettre du développement-209-Mai 2011. *Le phosphore dans tous ses états.*
- Perspectives agricoles-N°364-Février 2010. *Dossier Fertilisation PK.*
- Terra. Terragricoles de Bretagne Réussir. *Phosphore : un élément indispensable à gérer avec précision.*
- Comifer PKMg, novembre 2009. *Fertilisation PK. Grille de calcul de dose.*
- Arvalis-Institut du Végétal. Damien BRUN, Jean-Pierre COHAN, 2012. *Intérêts et limites de la localisation des engrais azotés et phosphatés au semis des céréales à paille.*
- Horizon, mars-avril 2009, Jean-Paul DAOUZE. *Le phosphore minéral est cher, trop pour les céréales.*
- ACTA. *Diagnostic du risque de transfert de phosphore des parcelles agricoles vers les cours d'eau en vue de prendre en compte cet élément dans les pratiques agricoles.*
- INRA, 1988. *Phosphore et potassium dans les relations sol-plante. Conséquences sur la fertilisation.*
- Commissariat général au développement durable, juin 2009. *Le point sur le phosphore dans les sols : nécessité agronomique, préoccupation environnementale.*
- Jean-Claude FARDEAU, Christian MOREL, Raymonde BONIFACE. Agronomie, EDP Sciences, 1988. *Pourquoi choisir la méthode OLSEN pour estimer le phosphore "assimilable" des sols ?*

Coordination du dossier : Hervé FRANÇOIS

Rédaction : Christophe Le Gall

Contributeurs : Marc CHEREAU, Fabien GUERIN, Laetitia TEMEN, Florence LEON et les agronomes des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire.