

Nouvelle interprétation des teneurs en phosphore pour les sols genevois

A. BESSON, J. MULLER et A. GILLET, Ecole d'ingénieurs de Lullier (EIL), filière Agronomie, Axe sols et substrats, 1254 Jussy

 E-mail: antoine.besson@hesge.ch
Tél. (+41) 22 75 99 522.

Introduction

Un conseil de fertilisation nécessite le prélèvement et le conditionnement d'un échantillon de sol, suivis de l'extraction par un réactif choisi et du dosage du nutriment dans le filtrat. Un facteur de correction de la norme de fumure est ensuite déterminé, à partir du résultat de l'analyse et d'un barème d'interprétation; celui-ci prend en compte certaines caractéristiques du sol, telles que la teneur en argile, ainsi que l'historique de la parcelle cultivée.

L'échantillon doit être représentatif de la surface à analyser. Les teneurs du sol en éléments nutritifs montrent en effet une importante variabilité spatiale (Frogbrook *et al.*, 2002; Needelman *et al.*, 2001). A Genève par exemple, des coefficients de variation des teneurs en phosphore (P) compris entre 8 et 76% sont obtenus sur neuf parcelles analysées sur trois placettes distantes de 15 à 25 m (Muller, 2002; tabl.1). Malgré cette importante variabilité spatiale, les recommandations en vigueur pour le prélèvement d'échantillons sont les mêmes pour chaque parcelle homogène, soit un échantillon composite à partir de vingt piqûres (Anonyme, 1996).

Le réactif d'extraction doit refléter la disponibilité du P pour la culture considérée (Gartley *et al.*, 2002). En Suisse, et jusqu'à ces dernières années, l'extrait «Dirks-Scheffer» (eau saturée de CO₂) était pratiqué pour le conseil de fertilisation P. Cette méthode est progressivement remplacée par l'extraction à l'acétate d'ammonium+EDTA (AAEDTA). A Genève, cette méthode est utilisée depuis une quinzaine d'années en complément à une extraction à l'eau distillée. Cette double extraction permet d'obtenir plus d'informations sur la

Résumé

Le barème d'interprétation pour les teneurs en phosphore (P) du sol pourrait être modifié à partir des résultats obtenus au laboratoire des sols de l'Ecole d'ingénieurs de Lullier (EIL). L'analyse des valeurs médianes des teneurs en P des sols limoneux et limono-argileux de pH ≥ 7 montre une divergence dans l'interprétation des teneurs suivant les valeurs de référence considérées, qui résulte davantage du barème d'interprétation que du réactif d'extraction. En outre, les données récoltées sur les exploitations pilotes du réseau d'AGRIDEA montrent que pour un apport en P comparable d'environ 25 kg/ha, les rendements en blé n'augmentent pas lorsque les teneurs du sol en P-AAEDTA passent de 25-50 mg/kg à 50-75 mg/kg; la plage suffisante pourrait ainsi se situer au-dessous des 50-75 mg/kg actuellement proposés par les DBF. Enfin, les deux essais conduits au champ en 2001 et 2002 montrent une bonne relation ($r^2 = 0,70$) entre le P-AAEDTA du sol et le P total dans les parties aériennes du blé au stade un à deux nœuds, pour autant que l'on prenne en compte la variété et le précédent cultural. Les essais au champ indiquent également que des teneurs en P suffisantes pour la formation du rendement sont obtenues avec des teneurs en P-AAEDTA du sol inférieures à la plage satisfaisante proposée par les DBF. Il devrait être donc aujourd'hui possible de proposer, pour la production de blé d'automne sur limon et limon argileux de pH ≥ 7 , une plage provisoire de teneurs satisfaisantes en P-AAEDTA du sol comprise entre 25 et 50 mg/kg.

Tableau 1. Résultats des analyses du sol (P-AAEDTA), teneur totale en phosphore dans les végétaux (P-plante) et rendement en blé, année 2001.

Parcelle n°	pH		MO ¹ (g/kg)		A ² (g/kg)	P-AAE (mg/kg)		P-plante (mg/kg)		Rendement (dt/ha)	
	Moy.	ET	Moy.	ET		Moy.	ET	Moy.	ET	Moy.	ET
1	7,5	0,2	30,0	2,6	300	46	4	2363	40	46,1	5,8
2	8,0	0,1	29,7	0,6	240	103	49	2928	445	39,6	7,8
3	7,1	0,1	46,3	2,0	340	47	3	2597	218	39,8	4,1
4	7,5	0,2	44,3	2,5	330	101	7	3157	176	40,7	4,9
5	7,2	0,7	22,7	2,5	260	77	59	2384	530	41,8	3,4
6	7,5	0,6	30,0	6,2	270	47	20	2725	283	57,8	1,2
7	7,4	0,6	23,3	2,3	310	17	2	1617	199	36,2	6,6
8	7,4	0,6	25,3	0,6	230	84	22	2816	264	41,0	3,5
9	7,1	0,8	30,3	2,5	210	61	33	2166	520	60,7	2,7

Les chiffres correspondent aux moyennes (Moy.) des trois placettes par parcelle, sauf pour l'argile où une seule placette a été analysée.
ET = écart-type (tiré de Muller, 2002). ¹Teneur en matière organique. ²Teneur d'argile.

fertilité du sol. Un pouvoir tampon apparent du P peut notamment être calculé et l'interprétation de l'analyse est réalisée sur la base des résultats des deux extraits (Celardin, 1991; Celardin, 1996).

Des références sur le système sol/engrais/plante doivent être disponibles, de manière à établir le seuil de réponse des cultures à l'apport de fertilisants. Le seuil de réponse (ou valeur critique) est la concentration en nutriment du sol au-dessus de laquelle la probabilité de réponse de la culture à un apport du nutriment en question est faible (Colomb, 2006). Les références régionales acquises pour un même contexte pédo-climatique permettent d'améliorer la précision de l'interprétation de l'analyse (Rémy, 1999; Cook et Bramley, 2000). Il s'agit finalement de séparer les sols en classes de fertilité et d'établir un facteur de correction de la norme de fumure, généralement compris entre 0 et 2,5 (Le Souder, 2005; Ryser *et al.*, 2001; Sims, 2000 et Hermant, 1991). Sims (2000) et Hermant (1991) retiennent trois classes et les définissent de la manière suivante:

- **Niveau insuffisant:** le nutriment est un facteur limitant du rendement. La probabilité que le rendement augmente après l'apport du nutriment est élevée. L'apport en nutriment recommandé est supérieur aux exportations.
- **Niveau satisfaisant:** la probabilité que le rendement augmente lorsque l'apport en nutriment est supérieur aux exportations est faible. L'apport en nutriment recommandé correspond aux exportations.
- **Niveau excédentaire:** la probabilité que le rendement augmente suite à l'apport du nutriment est faible. L'apport en nutriment recommandé est inférieur aux exportations.

En Suisse, il incombe aux stations de recherche Agroscope d'établir des barèmes d'interprétation valables pour tout le pays. Le barème en vigueur aujourd'hui pour les grandes cultures compte cinq classes et a été révisé plusieurs fois. La dernière révision date de 2001 (Données de base pour la fumure, DBF, Ryser *et al.*, 2001) et une actualisation est en cours.

Le phosphore présent dans les sols genevois a déjà fait l'objet de nombreux travaux et de quelques publications (Celardin, 2003; Besson et Muller, 2002; Hermant, 1991). Cet article en fait la synthèse et étudie si nous disposons d'assez d'informations pour ré-

gionaliser le barème d'interprétation pour le phosphore. Notre réflexion se concentre sur le blé d'automne, cultivé sur des sols de $\text{pH} \geq 7$ limoneux et limono-argileux; le blé d'automne est la culture la plus représentée (environ 40% de la surface occupée par les grandes cultures), et les sols cultivés en grandes cultures sont dans 57% des cas des limons et limons argileux, lesquels présentent pour la plupart (~ 85%) des $\text{pH} \geq 7$. Les données à disposition proviennent du projet Phosphorescent (Hermant, 1991), des analyses réalisées au laboratoire des sols de Lullier, du réseau pilote d'AGRIDEA et de deux essais mis en place en collaboration avec les agriculteurs. Ces deux essais visaient à établir la relation entre le P extrait du sol par l'AAEDTA et la concentration de P dans les parties aériennes du blé au stade Zadoks 31/32 (un à deux nœuds).

Matériel et méthodes

Banque de données du laboratoire des sols de Lullier

Le laboratoire des sols de Lullier est un laboratoire d'Etat qui existe depuis 1894. Les résultats d'analyses ont été conservés depuis 1942. Depuis 1993, une banque de données informatisée permet de calculer les teneurs médianes en éléments nutritifs en fonction du type d'exploitation (grandes cultures, cultures maraîchères, viticulture, arboriculture) et de la classe texturale. Dans cet article, les teneurs médianes en phosphore sont présentées pour les limons et limons argileux avec un $\text{pH} \geq 7$. Cette valeur médiane sera interprétée à l'aide du barème proposé par Ryser *et al.* (2001), ainsi que par des valeurs proposées par Gallet (2001), Collomb *et al.* (2006) et Morel *et al.* (2004). Ces trois derniers auteurs donnent des valeurs d'interprétation pour la méthode Olsen et la méthode isotopique. Il convient donc de transformer ces valeurs à l'aide de corrélations disponibles. Pour la transformation P-Olsen et P-E1 vers P-AAEDTA, les corrélations issues du projet COST 832 (1, 3) ainsi que celles issues du projet phosphorescent (2, 4; Hermant, 1991) ont été utilisées:

- (1) $\text{P-Olsen} = 0,22 \text{ P-AAEDTA} + 4,8$
($n = 21, r^2 = 0,78$)
- (2) $\text{P-Olsen} = 0,46 \text{ P-AAEDTA} + 12$
($n = 7, r^2 = 0,96$)
- (3) $\text{P-E1} = 0,12 \text{ P-AAEDTA} + 2,0$
($n = 21, r^2 = 0,89$)
- (4) $\text{P-E1} = 0,22 \text{ P-AAEDTA} - 0,4$
($n = 7, r^2 = 0,94$)

Ces quatre corrélations ont été établies pour des limons et limons argileux présentant un $\text{pH} \geq 7$.

Réseau pilote d'AGRIDEA

Le réseau pilote d'AGRIDEA compte trois exploitations sur le canton de Genève. Les données récoltées entre 1991 et 2002 (Zimmermann, 2006) comprennent les résultats d'analyses de sol et les données culturales. Pour les onze campagnes, et toujours pour des limons et limons argileux de $\text{pH} \geq 7$, nous disposons de 85 situations de culture de blé d'automne. Le rendement moyen obtenu sur ces parcelles est présenté en fonction des teneurs en P-AAEDTA des sols et des apports en P.

Teneurs en P des sols et des végétaux

Les relations entre les teneurs en P du sol et des plantes de blé au stade un à deux nœuds (Zadoks 31/32) ont été établies en 2001 et 2002. Sur les quatorze parcelles étudiées par Muller en 2001, nous en avons retenu neuf de propriétés similaires, mais se différenciant par leurs teneurs en P-AAEDTA (tabl.1). La variété de blé retenue était Runal après un colza. Toutes les parcelles ont reçu entre 15 et 20 kg P/ha avant le semis. Les prélèvements de sol et de partie aérienne des végétaux ont été effectués simultanément sur trois placettes d'environ 0,5 m² par parcelle, distantes de 15 à 25 m. L'échantillon de sol se composait de trois piqures par placette faites à l'aide d'une tarière «Edelmann» sur la couche 0-20 cm (Muller, 2002).

En 2002, les prélèvements ont été faits sur 33 parcelles cultivées en blé, de pH neutre à alcalin ($7,4 \pm 0,4$), de texture limoneuse ($26 \pm 5,9\%$ d'argile) et correctement pourvues en matière organique ($2,6 \pm 0,3\%$). Au stade tout début montaison, un prélèvement des sols et des parties aériennes du blé a été réalisé tous les 10 à 15 m sur une diagonale de la parcelle. Contrairement à 2001, plusieurs variétés de blé étaient cultivées sur ces parcelles et le précédent n'était pas systématiquement du colza. De plus, 20 des 33 parcelles n'avaient pas reçu d'engrais P avant le semis, les autres en ayant reçu entre 15 et 65 kg par hectare (Gillet, 2003).

Analyses du sol

L'analyse du sol (pH, matière organique, texture) et le dosage du P selon la méthode AAEDTA ont été réalisés selon les méthodes de référence des stations de recherche Agroscope (Anonyme, 1996).

Analyse des plantes de blé au printemps

Les parties aériennes du blé ont été prélevées au stade Zadoks 31/32 et séchées à 70 °C jusqu'à obtention d'un poids constant (48 h), puis broyées à 0,5 mm. Après calcination de 2,5 g de poudre (550 °C, 4 h), on humidifie les cendres avec un peu d'eau, on transfère dans un ballon jaugé de 200 ml, puis on ajoute 10 ml d'acide chlorhydrique

37% et 80 ml d'eau chaude. Le ballon est mis au bain-marie bouillant pendant 20 min. Après refroidissement, on amène la solution à la marque du ballon jaugé, puis on filtre sur papier plissé (Anonyme, 1995). Le phosphore est ensuite dosé par la méthode du molybdate d'ammonium mesuré par colorimétrie FIA (Anonyme, 1996). Les coefficients de corrélation entre les teneurs en P-AAEDTA du sol et les teneurs totales en P des plantes de blé ont été calculés à l'aide du logiciel «Excel» de Microsoft. Les tests de Student (T-test) ont été réalisés à l'aide du logiciel Minitab.

Résultats et discussion

Banque de données du laboratoire des sols de Lullier

Le tableau 2 montre une divergence dans l'interprétation des résultats suivant les références considérées. Selon le barème de Ryser *et al.* (2001), la majorité des sols doivent être considérés comme insuffisamment pourvus, puisque leurs teneurs en P-AAEDTA sont inférieures à la plage satisfaisante. Une fois ces teneurs transformées en teneurs P-Olsen et P-E1 à l'aide de corrélations établies pour des sols de texture et pH similaires, la majorité des sols est alors rangée dans les plages suffisantes ou excédentaires selon ces barèmes. Au vu des bonnes corrélations observées entre les différentes méthodes d'analyses (r^2 de 0,78 à 0,96), il ne s'agit pas ici d'un problème de réactif d'extraction mais bien de valeurs de référence. Ce dernier point avait d'ailleurs déjà été relevé par Hermant (1991). Gallet (2001) a par ailleurs mis en valeur des essais à long terme conduits en Suisse et montré qu'au-dessus d'une teneur en P-AAEDTA de 35 mg/kg, il n'y avait pas de différence significative de rendement entre les procédés avec et sans apports de P.

Tableau 2. Valeurs médianes du pH, de la matière organique, du pourcentage d'argile et des teneurs en P-AAEDTA pour les sols du canton de Genève appartenant aux classes de texture «limon» et «limon argileux».

Classe de texture	n	pH	MO (g/kg)	A (g/kg)	P-AAEDTA (mg/kg)		P-Olsen* (mg/kg)		P-E1* (mg/kg)	
					Résultats	Références	Résultats	Références	Résultats	Références
Limon	330	7,7	25	240	43	50-75 ^a	14-32	8 ^b -12 ^c	7-11	< 5 ^{c, d}
Limon argileux	121	7,7	30	330	27	45-70 ^a	11-24	8 ^b -12 ^c	5-6	< 5 ^{c, d}

^aValeurs pour la plage satisfaisante données par Ryser *et al.* (2001).

^bValeur critique donnée par Colomb *et al.* (2006).

^cValeurs critiques données par Morel *et al.* (1992).

^dValeur critique donnée par Gallet (2001).

*Les résultats pour P-Olsen et P-E1 ont été calculés à l'aide de corrélations spécifiques.

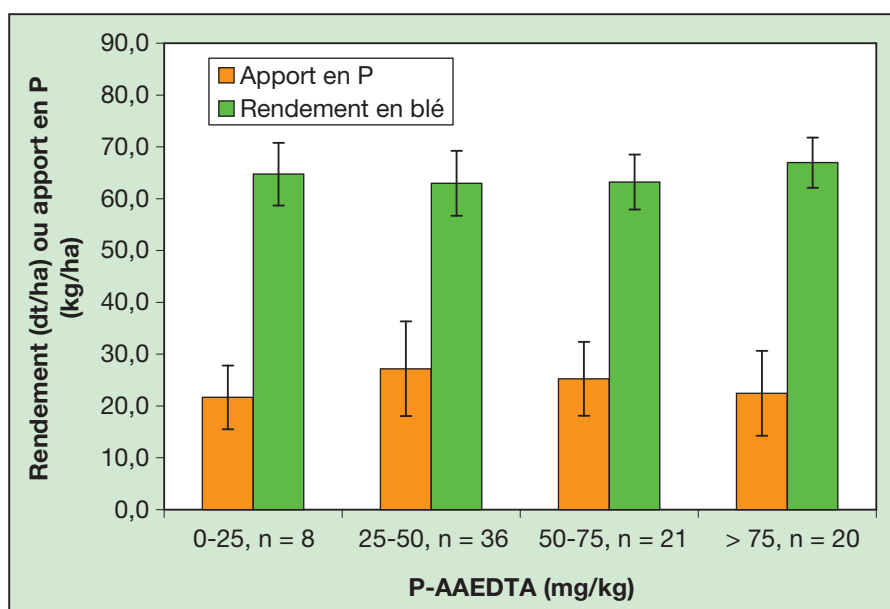


Fig. 1. Rendement du blé d'automne et apports en P en fonction de la teneur du sol en P-AAEDTA (canton de Genève, trois exploitations, 11 campagnes, 85 cultures). Les traits verticaux représentent l'écart-type.

Réseau pilote d'AGRIDEA

Le rendement moyen en blé d'automne pour les trois exploitations, les onze campagnes (1991-2002) et les 85 cultures de blé est de 64 ± 11 dt/ha. La différence de rendement est significative (p -valeur $< 0,001$) entre le blé d'automne «extenso» (19 cultures, rendement de 53 ± 8 dt/ha) et le blé d'automne «non extenso» (66 cultures, rendement de 67 ± 10 dt/ha). La figure 1 donne les rendements moyens et les apports en P en fonction de la teneur en P-AAEDTA du sol. Les apports en P ne dépendent pas de la teneur en P-AAEDTA du sol et, pour un apport comparable (22-27 kg P/ha), les rendements n'augmentent pas significativement avec les teneurs en P-AAEDTA. Les valeurs obtenues pour la classe 0-25 mg/kg P-AAEDTA doivent être interprétées avec prudence en raison du faible nombre de cultures (8). La classe

25-50 mg/kg de P-AAEDTA est la mieux représentée (36 cultures) et le rendement moyen ne diffère pas de ceux obtenus dans les classes présentant des teneurs supérieures en P, cela sans augmentation des apports. Cela indique que la plage suffisante pourrait se situer au-dessous des 50-75 mg/kg actuellement proposés pour les limons par Ryser *et al.* (2001).

Teneurs en P des sols et des végétaux

Les résultats des analyses des sols et des plantes pour l'année 2001 figurent dans le tableau 1. La relation entre la teneur du sol en P-AAEDTA et la teneur totale dans les plantes de blé pour les années 2001 et 2002 est présentée dans les figures 2 et 3.

La relation entre la concentration en éléments nutritifs dans les tissus végétaux et le rendement permet de définir des plages de teneur satisfaisantes (Brady et Weil, 1999) qui varient en fonction du stade de développement et des conditions de production. La littérature contient de nombreuses références pour le blé (Plank, 1988; Bergmann, 1988; Brennan et Bolland, 2001; Colomb *et al.*, 2002). Comme 75% du blé d'automne est cultivé à Genève en «extenso» (Anonyme, 2006), nous retiendrons la plage satisfaisante donnée par Plank (1988) qui est de 2000 à 4000 mg P/kg MS au stade de développement 31/32 du blé. En 2001 et 2002, les teneurs en P mesurées dans

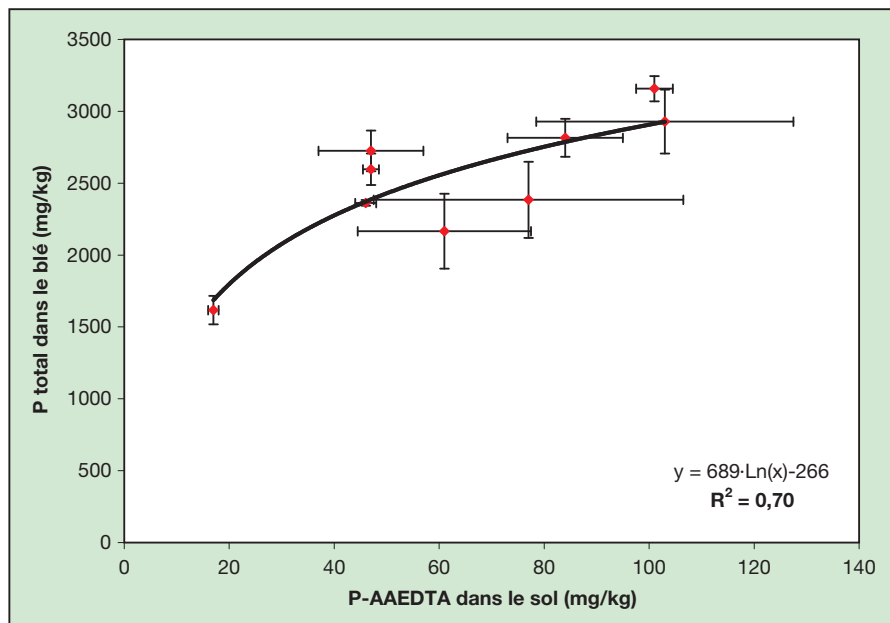


Fig. 2. Relation entre le P-AAEDTA du sol et le P total du blé (Zadoks 31/32) en 2001. La variété de blé est Runal après colza. Les points représentent la moyenne de trois prélèvements par parcelle. Les écarts-types parfois importants montrent que les valeurs de P-AAEDTA peuvent varier fortement à l'intérieur d'une même parcelle agricole.

les parties aériennes des plantes de blé étaient inférieures à 2000 mg/kg dans respectivement 18% et 3% des cas. Pour toutes ces situations, les teneurs en P-AAEDTA du sol étaient inférieures à 25 mg/kg (fig. 2 et 3).

Aucune relation n'a été observée entre le rendement et la teneur des plantes en phosphore en 2001 (tabl.1). Cela s'explique par le fait que le rendement dépend de plusieurs paramètres non maîtrisés durant cet essai (date de semis, fertilisation azotée ou traitements phytosanitaires). Les rendements les plus élevés (parcelles 6 et 9, tabl.1) ont été obtenus par les agriculteurs produisant

de manière conventionnelle, sans renoncer à l'usage des fongicides et raccourcisseurs.

En 2001, pour la variété Runal avec précédent colza, une bonne relation ($R^2 = 0,70$) est observée entre le P-AAEDTA du sol et le P total présent dans les parties aériennes du blé au stade un à deux nœuds (fig. 2). Sonar *et al.* (2002) montrent une étroite relation entre le prélèvement en phosphore par le blé dans des sols calcaires et les quantités extraites par l'acétate de sodium (méthode Morgan, pH 4,8), un réactif d'extraction proche de l'AAEDTA. L'AAEDTA pourrait ainsi être un réactif d'extrac-

tion convenable pour les sols de pH > 7, même si pour Demaria (2004), la part du P échangeable extraite par l'AAEDTA décroît linéairement lorsque le pH augmente, ce qui indique que ce réactif d'extraction dissout des phosphates de calcium lentement échangeables, voire non échangeables.

En 2002, lorsque l'on inclut dans les essais sept variétés de blé, sept précédents et différents apports en phosphore, la relation entre le P-AAEDTA du sol et le P total présent dans les parties aériennes du blé au stade un à deux nœuds se dégrade et le coefficient de corrélation tombe à 0,23 (fig. 3). En réduisant l'échantillon d'essais aux seules parcelles portant la même variété après le même précédent (Runal avec précédent tournesol, cas le plus fréquent, $n = 8$), on retrouve une bonne corrélation entre le P-AAEDTA et le P total dans les plantes (fig. 4). L'effet du précédent peut être expliqué par son action sur la rhizosphère ainsi que par une différence de qualité des résidus. On peut par exemple émettre l'hypothèse que suite à l'action acidifiante du colza sur la rhizosphère (Hinsinger, 2001), la disponibilité du phosphore en sol calcaire augmente pour la culture suivante. En outre, il est possible que l'effet variétal repose sur des différences morphologiques ou physiologiques du système racinaire. Gahoonia *et al.* (1997) montrent que l'acquisition du phosphore pour différentes variétés de blé et d'orge dépend de la longueur des poils racinaires.

Par ailleurs, la relation entre le P-AAEDTA moyen et le P total moyen dans les plantes de blé au stade Zadoks 31/32 montre une forte variabilité annuelle: en 2001, 30 mg P-AAEDTA/kg de terre correspondaient à 2077 mg P/kg dans les plantes, tandis qu'en 2002, une même concentration moyenne de P-AAEDTA dans le sol permettait d'atteindre une concentration de 3024 mg/kg dans les plantes (fig. 2 et 3). Cette relation différente s'explique peut-être par des conditions défavorables à l'établissement du système racinaire au mois de mars 2001 suite aux 282 l/m² de précipitations, soit environ trois fois les quantités normales.

La relation entre le P-AAEDTA et le P total dans les plantes est significativement décrite par une courbe semi-logarithmique de type $a \cdot \ln(x) + b$. La pente de cette courbe, donnée par la dérivée première, est de a/x . Autrement dit, la relation entre la teneur en P de la plante et l'offre de P-AAEDTA du sol est non linéaire. A l'aide d'une construction algébrique simple (fig. 5), nous proposons de séparer la courbe en deux

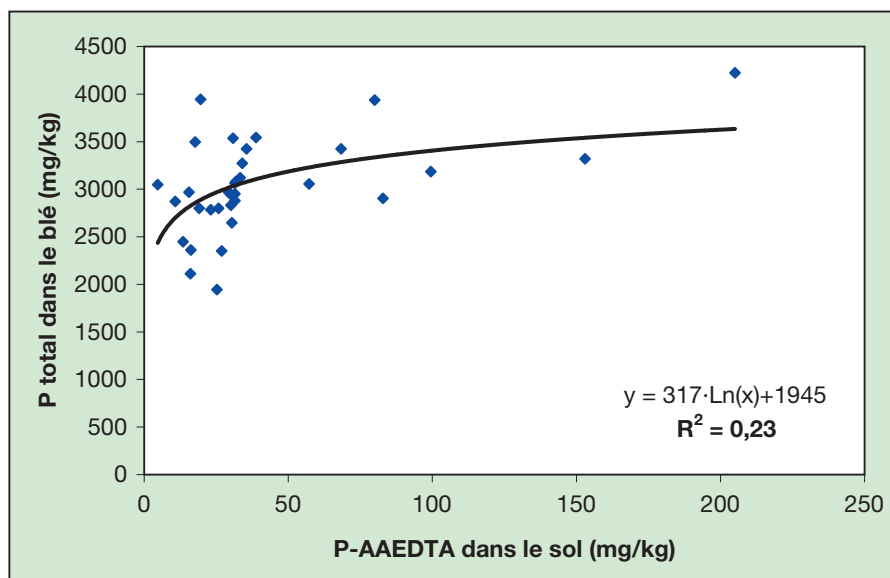


Fig. 3. Relation entre le P-AAE du sol et le P total du blé (Zadoks 31/32) en 2002. Ces résultats concernent sept variétés, sept précédents et différents apports en P.

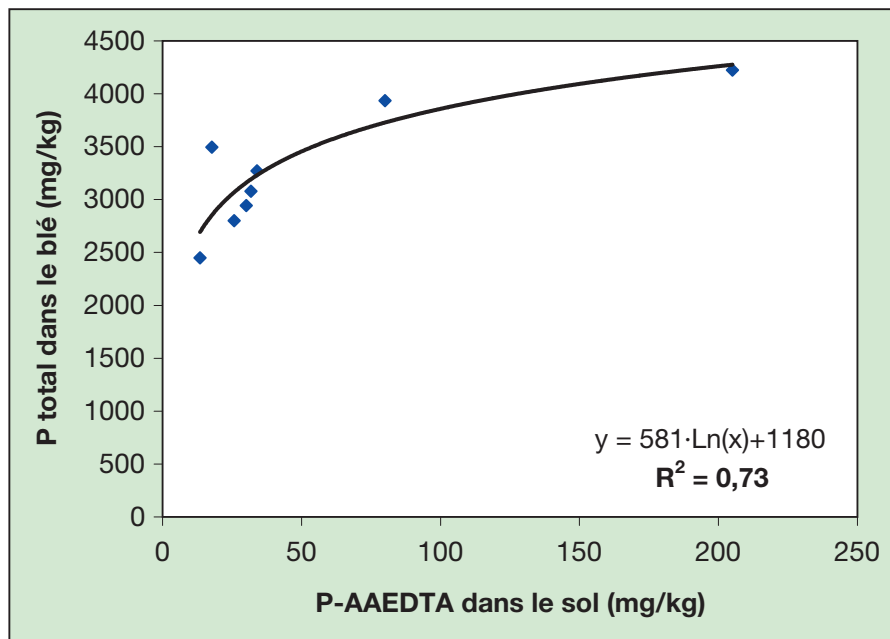


Fig. 4. Relation entre le P-AAE du sol et le P total du blé (Zadoks 31/32) en 2002. La variété de blé est Runal après tournesol.

zones distinctes: la première est une zone de forte pente, dans laquelle l'absorption de P par plante est fortement liée à l'augmentation de P-AAEDTA dans le sol; la seconde est une zone de faible pente, dans laquelle l'absorption de P ne suit que faiblement l'augmentation de P-AAEDTA du sol. L'hypothèse est que, dans cette zone de faible pente, le phosphore n'est plus un facteur limitant pour la croissance des plantes et que les teneurs en P du sol correspondantes se trouvent au-dessus du seuil de réponse.

Le point de rupture des pentes, soit la séparation entre les deux zones, corres-

pond approximativement à l'intersection de deux tangentes établies aux extrémités de la courbe logarithmique (Celardin, 2003). L'application de cette méthode aux courbes des figures 2, 3 et 4 donne des points de rupture situés respectivement à des teneurs de 40, 34 et 42 mg P-AAEDTA·kg⁻¹ de sol et à des teneurs de P total dans les plantes de respectivement 2276, 3064 et 3352 mg·kg⁻¹. Les teneurs en P de la plante sont toutes supérieures au seuil limite de 2000 mg/kg donné par Plank (1988). Les valeurs de P-AAEDTA sont quant à elles inférieures au seuil «normalement pourvu» du barème de Ryser *et al.* (2001).

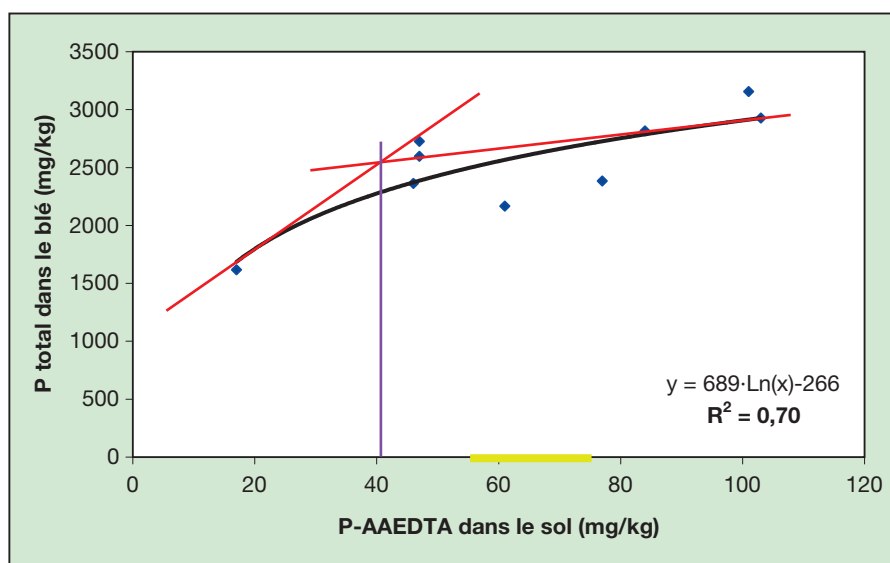


Fig. 5. La construction de deux tangentes permet de situer le point de rupture d'une courbe de type semi-logarithmique. La zone de faible pente, à droite du point de rupture, peut être assimilée à une zone de consommation de luxe. La plage «normalement pourvu» du barème officiel est signalée en jaune sur l'abscisse du graphique.

Conclusions

- ❑ L'évaluation de la disponibilité du phosphore dans les sols genevois dépend du réactif d'extraction choisi et du barème d'interprétation correspondant. Les interprétations différentes de la disponibilité sont davantage dues aux barèmes d'interprétation qu'au choix du réactif d'extraction, comme le montrent les bonnes corrélations calculées entre le phosphore extractible selon différentes méthodes (r^2 compris entre 0,78 et 0,96).
- ❑ Selon les résultats observés sur les exploitations pilotes genevoises du réseau d'AGRIDEA, les rendements en blé sont, pour un même apport en P (22-27 kg P/ha), indépendants des teneurs du sol en P-AAEDTA. Les essais au champ menés en 2001 et 2002 montrent que les teneurs en P dans les parties aériennes du blé sont la plupart du temps suffisantes pour la formation du rendement, sur des sols présentant des teneurs en P-AAEDTA inférieures aux plages satisfaisantes du barème de Ryser *et al.* (2001). Ces plages sont probablement trop élevées pour le blé cultivé sur limon et limon argileux de pH ≥ 7 .
- ❑ La prise en compte de la variété et du précédent améliore fortement la relation entre le P-AAEDTA du sol et le P total dans les parties aériennes du blé au stade un à deux nœuds.
- ❑ Un conseil de fumure nécessite une bonne connaissance des relations entre les teneurs du sol, les apports d'engrais et les rendements obtenus. Selon les données acquises dans le canton de Genève entre 1990 et 2006, une modification provisoire de la gamme des teneurs satisfaisantes en P-AAEDTA est proposée pour la culture du blé d'automne: 25-50 mg/kg au lieu de 50-75 mg/kg. Cette gamme de teneurs correspond mieux aux réalités de la production à Genève, d'autant plus qu'une part importante des céréales est produite de manière extensive, sans recours aux fongicides et aux raccourcisseurs. La mise en place d'essais à long terme est nécessaire pour confirmer la validité des résultats obtenus.
- ❑ Les conclusions de ce travail portent uniquement sur des sols limoneux et limono-argileux de pH > 7 , cultivés de manière extensive, avec une dominance céréalière. Elles ne concernent pas d'autres cultures que le blé d'automne.

Remerciements

L'auteur remercie les agriculteurs pour la mise à disposition des parcelles d'essais et pour leur franche collaboration. Merci également aux D^r F. Celardin (EIL, filière agronomie), D^r J.-A. Neyroud (Agroscope-RAC) et au Prof. E. Frossard (EPFZ, groupe nutrition des végétaux) pour l'aide qu'ils ont apportée à la rédaction de cet article. Un grand merci à AGRIDEA (André Zimmermann) pour la mise à disposition des données sur les exploitations pilotes genevoises et au D^r J.-A. Neyroud pour la mise à disposition des données du projet COST 832.

Bibliographie

Les références bibliographiques sont disponibles auprès de l'auteur.

Zusammenfassung

Neue Interpretationsmöglichkeiten für die Phosphorgehalte in Genfer Böden

Das Ziel dieser Studie ist eine mögliche Veränderung des Beurteilungsschemas der Bodenphosphorgehalte zu diskutieren. Basierend auf den Median-Werten ergibt sich eine Abweichung zwischen der Beurteilung des P-Gehaltes von Böden der Texturklassen «Lehm» und «toniger Lehm» mit einem $\text{pH} \geq 7$ und der Interpretation gemäss der in Betracht gezogenen Referenzwerte. Diese Abweichung ist mehr auf das Beurteilungsschema als auf die Extraktionsmittel zurückzuführen. Andererseits weisen die Ergebnisse des Pilotbetriebsnetzes der AGRIDEA auf, dass bei einer P-Gabe von ungefähr 25 kg/ha die Weizenträge nicht zunehmen, wenn der P-AAEDTA-Bodengehalt von 25-50 mg/kg auf 50-75 mg/kg ansteigt. Dies weist darauf hin, dass sich die Zone mit genügendem Gehalt unter der in den offiziellen Düngungsgrundlagen vorgeschlagenen Zone von 50-75 mg/kg befinden könnte. Schlussendlich weisen zwei im 2001 und 2002 durchgeführte Feldversuche eine gute Relation ($r^2 = 0,70$) zwischen dem P-AAEDTA des Bodens und dem Gesamtphosphorgehalt der oberirdischen Pflanzenteile des Weizens im Stadium ein- bis zwei Knoten auf; unter der Voraussetzung, dass die Sorte und die Vorfrucht berücksichtigt werden. Die Feldversuche weisen zudem darauf hin, dass in den meisten Fällen genügend P-Gehalte für die Ertragsbildung vorhanden sind, wenn sich der P-AAEDTA-Bodengehalt unter der in den offiziellen Düngungsgrundlagen vorgeschlagenen genügenden Zone befindet. Wir schlagen deshalb vor, für den Winterweizenanbau auf Böden der Klasse «Lehm» und «toniger Lehm» mit einem $\text{pH} \geq 7$ eine provisorisch genügende Zone im Bereich eines P-AAEDTA-Bodengehaltes zwischen 25-50 mg/kg zu etablieren.

Summary

Towards a new interpretation of soil P-test values in Geneva for the fertilization of winter wheat

The current interpretation of soil P-test values could be modified in light of results collected in the Geneva canton. Considering the median P values obtained for soils containing 20 to 40% clay with $\text{pH} \geq 7$, significantly different interpretations can be provided, according to the considered reference values. The observed discrepancies are related to inconsistencies in the references values rather than in the extraction procedure. Furthermore, the analysis of the data collected in the Swiss French network of farms revealed that the wheat yield is not increasing in soils with a P-AAEDTA content of 50-75 mg/kg compared to soils with a P-AAEDTA content of 25-50 mg/kg upon a 25 kg/ha P input. This result suggests that the recommendable P value could be fixed lower than the present 50-75 mg/kg content proposed by the «basic data for fertilization in Switzerland» (DBF).

Finally, the results of two field experiments conducted in 2001 and 2002 show that, accounting for wheat variety and field history, a good correlation ($r^2 = 0,70$) between the P-AAEDTA content of the soil and total P in the aerial parts of wheat at Zadoks stage 31-32 is observed. These experiments also showed that the P content of the soils, although smaller than the recommended values, was most likely not the yield limiting factor.

As a consequence, we suggest to recommend a P-AAEDTA value in the 25-50 mg/kg range for winter wheat on soils containing 20 to 40% clay with $\text{pH} \geq 7$.

Key-words: phosphorus, P-test values, wheat, Switzerland, interpretation.

Riassunto

Verso una nuova interpretazione dei tenori di fosforo nei suoli genevrini

Lo scopo di questo articolo è di presentare alcuni risultati ottenuti dal Laboratorio dei suoli dell'EIL e di avanzare proposte di modifiche della tabella di interpretazione dei tenori di fosforo nel suolo. L'analisi dei valori medi dei tenori di P nei suoli delle classi limo e limo argilloso di $\text{pH} \geq 7$ mostra una divergenza nell'interpretazione dei tenori secondo i valori di riferimento presi in considerazione. Questa divergenza risulta piuttosto dalla tabella di interpretazione che non dalla scelta dei reattivi d'estrazione. D'altronde, i dati raccolti nelle parcelle piloti della rete AGRIDEA mostrano che per un apporto di P di circa 25 kg/ha, i rendimenti di frumento non aumentano quando i tenori del suolo in P-AAEDTA passano da 25-50 mg/kg a 50-75 mg/kg, il che indica che lo spettro sufficiente potrebbe situarsi al di sotto dei 50-75 mg/kg attualmente proposti dal DBF. Infine, le due prove in campo aperto condotti nel 2001 e 2002 mostrano una buona relazione ($r^2 = 0,70$) tra il P-AAEDTA del suolo e il P totale delle parti aeree del frumento allo stadio uno a due nodi, a condizione che si prenda in conto la varietà e il precedente culturale. Le prove in campo indicano ugualmente che i tenori in P sufficienti per la formazione del rendimento sono ottenute nella maggior parte delle situazioni con dei tenori in P-AAEDTA del suolo inferiori allo spettro soddisfacente proposto dai DBF. Di conseguenza, pensiamo che sia oggi possibile proporre, per la produzione di frumento d'autunno su limo e limo argilloso di $\text{pH} \geq 7$, uno spettro provvisorio dei tenori soddisfacenti in P-AAEDTA del suolo.