

Essais de phosphore dans les cultures maraîchères en sols organiques

Léon E. Parent¹, Julie Guérin² et Annie Pellerin³

¹Département des sols et de génie agroalimentaire, Pavillon Paul Comtois, Université Laval, Québec; ²CEROM, St-Mathieu-de-Beloeil, Québec; ³MAPAQ, Ste-Martine, Québec

RÉSUMÉ

Les pratiques actuelles de fertilisation phosphatée ne sont pas durables. Les recherches menées en Montérégie-Ouest montrent qu'il faut chercher à gérer un équilibre de la fertilisation phosphatée des cultures maraîchères autour de 4 à 5% de saturation en phosphore.

INTRODUCTION

Les pertes de phosphore dans les sols organiques cultivés varient de 1 à 37 kg P/ha/an dans l'état de New York, au Massachussets et en Ontario et peuvent atteindre 168 kg P/ha dans les Everglades. Ces pertes contribuent à la dégradation des plans d'eau. Une étude sur la qualité de l'eau du bassin versant de la rivière Châteauguay a indiqué un niveau de pollution excessif en phosphate dans le ruisseau Norton. En effet, l'eau y est de piètre qualité avec une concentration médiane dépassant de 14 fois le seuil environnemental de 0,03 mg P total/L. Comme la concentration en phosphore dissous y est 9 fois plus élevée que celle du phosphore particulaire, on attribue la pollution du ruisseau Norton au ruissellement et au lessivage d'engrais phosphatés appliqués en grandes quantités dans les cultures maraîchères.

Les analyses de sols organiques à des fins de recommandation d'engrais phosphatés sont basées sur la méthode Bray-I au Michigan, l'extrait à l'eau en Floride et l'extrait Mehlich-III dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord. Le rapport $P/(Al+5Fe)$ ou indice de saturation en phosphore (ISP_{M-III}) est devenu le critère de classification des nouveaux essais de fertilisation en sols organiques au Québec. La valeur environnementale critique est de 5% et elle a été confirmée par une étude en Caroline du Nord. Sous la valeur $P/(Al+5Fe)$ de 5%, les pertes de phosphore à l'environnement seraient contrôlées. Les pertes potentielles de phosphore à l'environnement peuvent être évaluées par un suivi annuel sur le terrain et par le fractionnement des formes de phosphore dans les sols organiques.

Pour établir les recommandations d'engrais, les sols des essais de fertilisation sont classés dans un ordre croissant selon l'analyse de sol et des doses croissantes d'engrais sont appliquées sur les sites expérimentaux. Nous avons récemment introduits des méthodes de saisies qui rapportent non seulement l'analyse de sol et les rendements, mais aussi les données descriptives des essais de fertilisation dans des métafichiers. Si le nombre d'observations est suffisant, les essais sont regroupés en catégories comme une classe de fertilité et d'autres facteurs pour déterminer par méta-analyse la réponse des cultures aux ajouts d'engrais sous les conditions spécifiées.

Notre objectif est de mesurer les besoins en phosphore des cultures maraîchères selon le rapport $P/(Al+5Fe)$ et de quantifier les réserves de phosphore disponible et les

pertes potentielles de phosphore à l'environnement dans les sols organiques cultivés du Québec.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Essais de fertilisation

Nous avons mené 87 essais de fertilisation phosphatée dans les sols organiques du Sud-Ouest du Québec pour six cultures de 2002 à 2008. Les conditions climatiques ont été normales pour toutes les années sauf 2002, 2003 et 2006 où la saison fut très humide. La plupart des essais furent conduits entre 2004 et 2006. Les essais étaient répartis comme suit: 11 pour la carotte, 17 pour le céleri, 10 pour le chou chinois, 24 pour la laitue, 12 pour l'oignon et 13 pour la pomme de terre. Le céleri et le chou chinois étaient transplantés. La laitue fut semée ou transplantée. Le phosphore exporté (kg P/ha) a été calculé en multipliant la concentration de phosphore de la biomasse (kg/t) par le rendement (t/ha).

Suivi du phosphore entre l'automne 2006 et le printemps 2007

On a sélectionné trois sites représentatifs des sols organiques, soit des sols peu, moyennement et bien décomposés. Les échantillons composés de 8 sous-échantillons chacun ont été prélevés dans la couche 0-30 cm, soit l'épaisseur moyenne de la terre noire. La grille d'échantillonnage était de 25 m par 25 m dans des champs de 10 ha chacun. Les sols ont été séchés à l'air, tamisés à < 2 mm et analysés pour P, Al et Fe après extraction selon les méthodes de l'oxalate acide d'ammonium et Mehlich-III. La saturation en phosphore selon les deux méthodes d'analyse fut calculée comme suit :

$$\% \text{ de saturation en } P_{\text{oxalate}} = 100 \frac{P_{\text{oxalate}}}{0,4 \left[\frac{Al_{\text{oxalate}}}{27} + \frac{Fe_{\text{oxalate}}}{56} \right]} \quad (1)$$

$$\% \text{ de saturation en } P_{\text{Mehlich-III}} = 100 \frac{P_{\text{Mehlich-III}}}{\frac{Al_{\text{Mehlich-III}}}{27} + \frac{5Fe_{\text{Mehlich-III}}}{56}} \quad (2)$$

Le P_{oxalate} représente le phosphore retenu par le sol comme réserve à court comme à plus long terme. La différence de contenu en P_{oxalate} entre le printemps 2007 et l'automne 2006 sur le même point géo-référencé représente le phosphore lessivé de la couche arable. Les seuils environnementaux reconnus pour les sols organiques sont de 20% pour la saturation en P_{oxalate} et de 5% pour la saturation en $P_{\text{Mehlich-III}}$.

Fractionnement du phosphore

La méthode Mehlich-III extrait presque exclusivement des formes de phosphore inorganique. Comme c'est un indice des réserves en phosphore plutôt qu'une mesure quantitative, il faut relier le $P_{\text{M-III}}$ à la somme des réserves rapidement disponibles pour calculer le redressement des réserves du sol en phosphore requis pour atteindre un $ISP_{\text{M-III}}$ cible. Nous avons échantillonné la couche de surface (0-20 cm) de 41 sols organiques du

Québec sous conditions naturelles (10) ou cultivées (31). La fraction extraite par une résine constitue un pool de phosphore très facilement disponible aux plantes; les fractions organiques et inorganiques extraites à l'aide du bicarbonate de sodium forment un pool de phosphore facilement disponible aux plantes; les fractions organiques et inorganiques extraites à l'aide de l'hydroxyde de sodium constituent un pool de phosphore plus récalcitrant. La somme des fractions extraites par la résine et le bicarbonate de sodium sont des formes de phosphore très rapidement disponibles aux plantes et les plus faciles à disperser dans l'environnement.

RÉSULTATS

Résultats des essais de fertilisation

Les rendements moyens pondérés étaient de 49 t/ha dans la classe de saturation en phosphore de 0-5%, de 50 t/ha dans celle de 5-10%, de 41 t/ha dans celle de 10-15% et de 46 t/ha dans celle de > 15%. Les rendements moyens des essais, les prélèvements de phosphore par tonne récoltée et les exportations moyennes par la récolte sont présentés au Tableau 1. Sauf pour le céleri, les prélèvements en phosphore par tonne de récolte étaient plus élevés par rapport aux données du CRAAQ (2003). L'analyse des résultats indique que les rendements commercialisables ont été peu affectés par l'ajout d'engrais. Il y a un risque très élevé de baisse de rendement en fertilisant les semis dans les sols montrant une saturation supérieure à 15%, (Tableau 2). Les transplants n'ont eu besoin que d'un engrais de démarrage. La deuxième édition du Guide de référence en fertilisation du CRAAQ qui sera publié en décembre 2010 réduit les doses de phosphore dans toutes les cultures par rapport à l'édition de 2003. Ces résultats peuvent servir de guide aux cultures non évaluées, car les doses du Guide de référence en fertilisation de 2003 apparaissent excessives par rapport à celles présentées au Tableau 2. Pour les transplants, la faible réponse au phosphore dans la classe de fertilité de 0-5% requiert sans doute plus de recherche.

Les résultats des essais de fertilisation indiquent que les sols organiques de Montérégie-Ouest ont accumulé beaucoup de phosphore dans la couche arable et que cette accumulation excessive ne comporte aucun avantage agronomique. Nos résultats confirment ceux obtenus en Finlande où les niveaux dépassant 90 mg P_{M-III} /kg sont considérés élevés en sols organiques (Elena Valkama, chercheure, Institut Agronomique de Jokioinen, Finlande, communication personnelle). Quatre sols organiques de Montérégie-Ouest montrant une saturation entre 4 et 5% contenaient > 100 mg P_{M-III} /kg.

Risque de pertes de phosphore des sols organiques à l'environnement

La relation entre l' ISP_{M-III} et la différence de concentration de P_{OX} entre l'automne 2006 et le printemps 2007 indique que plus le sol est saturé en phosphore (plus l' ISP_{M-III} est élevé), plus la perte de phosphore est élevée dans la couche 0-30 cm (Figure 1). Les sols avoisinant 5% conservent le mieux les réserves de phosphore dans le sol. Pour un sol organique représentatif des sols de Montérégie-Ouest (densité apparente de 0,28 t/m³ et 31 cm de terre noire en surface), la couche arable pèse 868 000 kg/ha. Pour un ISP_{M-III} de 15%, les pertes de phosphore montaient à environ 70 mg P_{OX} /kg ou 61 kg P_{OX} /ha, soit 139 kg P_2O_5 /ha entre l'automne 2006 et le printemps 2007. Ainsi une forte proportion du phosphore mis en réserve à grands frais est lessivé en dehors de la couche arable.

Réserves en phosphore inorganique facilement disponible

Autour d'une saturation de 5%, la dose sélectionnée varie de 55 à 110 kg P₂O₅/ha pour les semis et est de 30 kg P₂O₅/ha pour les transplants (Tableau 2). Pour la gestion agroenvironnementale du phosphore, il serait utile de calculer une dose spécifique pour chaque culture et permettant de maintenir les réserves du sol au niveau recherché. Les réserves en phosphore rapidement disponibles extraites par la résine et le bicarbonate de sodium représentent 1,4 fois l'analyse du phosphore par la méthode Mehlich-III (Figure 2) alors que l'ensemble des réserves (incluant l'extraction par l'hydroxyde de sodium) représentent 1,7 fois l'analyse P_{M-III} (données non présentées). La reconstitution des réserves de phosphore dans le sol sous un ISP_{M-III} de 4 ou 5% pourrait se faire à un taux de 1,4 fois le déficit du sol en P_{M-III}. Pour atteindre 5%, par exemple, le redressement peut être calculé comme suit :

$$\text{Redressement} \left(\text{kg} \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{\text{ha}} \right) = 1,4 \frac{(5 - \text{ISP}_{\text{M-III}})}{100} \text{CSP}_{\text{M-III}} \times 31 \times 2,29 \times \frac{\text{poids d'un ha}}{1\,000\,000} \quad (3)$$

Où l'ISP_{M-III} provenant de l'analyse de sol est exprimé en unité de pourcentage, 31 est le poids moléculaire du phosphore, 2,29 est le facteur de conversion du P en P₂O₅, le poids d'un ha de terre noire est de 868 000 kg en supposant une épaisseur de 31 cm et une densité apparente de 0,28 t/m³ cube et CSP_{M-III} est la capacité de rétention du phosphore dans le sol calculée en mmol/kg comme suit :

$$\text{CSP}_{\text{M-III}} = \frac{\text{Al}}{27} + \frac{3\text{Fe}}{56} \quad (4)$$

Où 27 est le poids moléculaire de l'aluminium et 56 est le poids moléculaire du fer. Un sol contenant 210 mg Al/kg et 730 mg Fe/kg a une CSP_{M-III} de $\frac{210}{27} + \frac{3 \times 730}{56} = 73,0$ mmol/kg, ce qui permet de résoudre l'équation (3) pour un ISP_{M-III} < 5%. Avec un ISP_{M-III} de 4% pour ce sol, le redressement est de 63 kg P₂O₅/ha plus les exportations. Par exemple, pour la carotte, en ajoutant les exportations, on atteint près de 110 kg P₂O₅/ha lors d'une saturation de 4% et une dose de près de 55 kg P₂O₅/ha pour une saturation de 5%.

Par ailleurs, les sols organiques montrant une saturation entre 4 et 5% contiennent en moyenne 215 mg P organique/kg. Pour chaque cm d'affaissement annuel du sol par

minéralisation de la matière organique, la perte de sol monte à : $\frac{868000 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}{31} = \frac{28000 \text{kg}}{\text{ha}}$,

Ceci représente un apport annuel en phosphore minéral de 6 kg P/ha-cm ou 14 kg P₂O₅/ha-cm contribuant à l'ISP_{M-III}. Comme, en contrepartie, il y a des pertes de phosphore par lessivage et érosion, il faut les ajustements nécessaires à la fertilisation phosphatée par des analyses de sol régulières.

DISCUSSION

Les essais de fertilisation montrent que la gestion agroenvironnementale du phosphore est possible aux alentours d'un ISP_{M-III} de 4 à 5% en sol organique, car les rendements sont élevés et les pertes à l'environnement sont minimisées. La gestion du phosphore en sol organique est facilitée en utilisant la relation étroite entre le P_{M-III} et les réserves de

phosphore facilement disponibles dans le sol. En visant une saturation de 4 à 5% et en tenant compte des exportations de phosphore par la récolte, on peut calculer la quantité de phosphore requise pour maintenir le niveau de fertilité entre 4 et 5%. La dose d'engrais calculée suffit à combler les besoins des cultures comme le démontrent les essais de fertilisation.

Pour effectuer ce calcul, les laboratoires doivent garantir un résultat basé sur le poids de sol organique (sol pesé sur une balance) et non sur son volume (prélèvement de sol à la cuiller) comme on le fait actuellement. Les méthodologies de préparation, d'extraction et de dosage doivent aussi être bien maîtrisées.

Les producteurs maraîchers disposent maintenant d'une base de données minimale sur les essais de fertilisation qu'il faut continuer à documenter avec le soutien des organisations compétentes. Cette base de données est un premier pas vers des recommandations localisées. L'amélioration continue de la régie de fertilisation doit commencer dès maintenant, car la responsabilité environnementale des entreprises est de plus en plus requise et que les réserves de phosphate naturel de qualité et facilement accessibles risquent de ne plus suffire à la demande d'ici une quarantaine d'années.

CONCLUSION

Les pratiques actuelles de fertilisation phosphatée en sol organique ne sont pas durables et la nouvelle édition du Guide de référence en fertilisation du CRAAQ ne règlera pas tout. Au lieu de chercher à explorer un intervalle de saturation entre 5 et 30%, il faudra plutôt chercher à gérer un équilibre de la fertilisation phosphatée des cultures maraîchères autour de 4 à 5% de saturation, sous le seuil environnemental estimé. De cette façon, la dose de fertilisation sera prévisible et facile à calculer et, en général, la culture répondra économiquement à la fertilisation.

Tableau 1. Moyenne des rendements commercialisables, des prélèvements et des exportations de P₂O₅ dans les 87 sites d'essais de fertilisation en sol organique

Culture	Rendement t/ha	Nombre de sites	Prélèvement kg P ₂ O ₅ /t	Exportation kg P ₂ O ₅ /ha
Semis				
Carotte	40,6	11	1,03	41,8
Laitue pommée	37,7	7	0,61	23,0
Laitue frisée	30,7	3	0,97	29,7
Oignon	54,3	11	1,09	59,2
Pomme de terre	41,4	13	1,42	58,7
Transplants				
Céleri	56,8	16	0,98	55,7
Chou chinois	50,7	9	1,04	52,7
Laitue pommée	42,0	5	0,61	25,6
Laitue romaine	42,4	8	1,01	42,8

Tableau 2. Sélection des doses d'engrais phosphatés en sol organique

100P/(Al+5Fe) %	Engrais vs. témoin	# sites	Dose médiane appliquée (kg P ₂ O ₅ /ha)			Dose sélectionnée
			30	55	110	
Gain relatif de rendement avec la fertilisation vs. témoin						
Semis						
0-5	ns ¹	2-4	+1,5%	-4,0%	+4,8%	110
5-10	ns	9-13	+0,9%	+2,1%	+1,9%	55
10-15	ns	19	+2,2%	+2,8%	+3,2%	30
> 15	significatif	11- 12	-4,9%	-3,0%	-3,9%	0
Transplants						
0-5	ns	3-7	+1,7%	+1,5%	-1,7%	30 ²
5-10	ns	6-9	-2,9%	-0,5%	-3,0%	30
10-15	ns	7-9	-2,3%	-1,2%	+0,2%	30
> 15	significatif	14	+1,3%	+4,1%	+1,3%	0-30 (laitue)

¹Non significatif; ²un redressement peut être nécessaire

Édition CRAAQ (2003) : 20 à 110 kg P₂O₅/ha pour oignon et carotte; 40-205 kg P₂O₅/ha pour pomme de terre; 20 à 105 kg P₂O₅/ha pour céleri; 35-190 kg P₂O₅/ha pour chou (toutes sortes); 20 à 100 kg P₂O₅/ha pour laitue

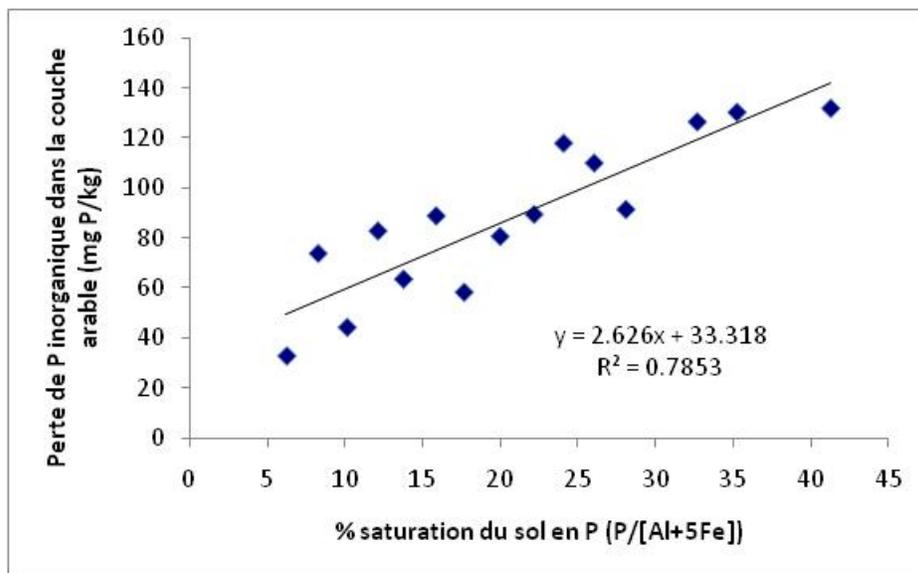


Figure 1. Relation entre l'indice Mehlich-III de saturation en phosphore (ISP_{M-III}) et les pertes de phosphore dans les sols organiques entre l'automne 2006 et le printemps 2007 sur trois fermes maraîchères de la Montérégie-Ouest.

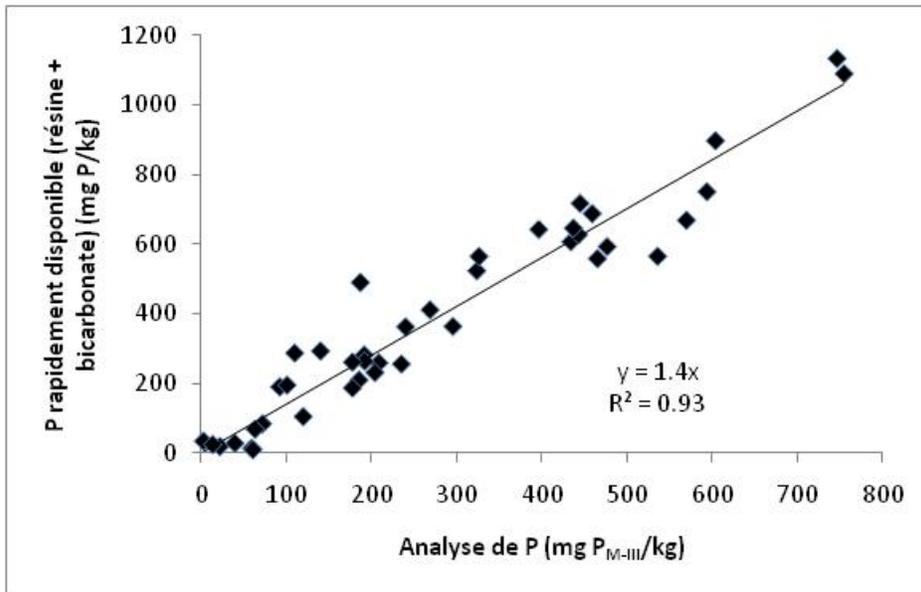


Figure 2. Relation entre le P_{M-III} et le P rapidement disponible extrait par une résine et le bicarbonate de sodium.