

Influence du CHAULAGE sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

Avertissements

Au moment de sa rédaction, l'information contenue dans ce document était jugée représentative des connaissances sur le chaulage des sols et son utilisation demeure sous l'entière responsabilité du lecteur. Certains renseignements pouvant avoir évolué de manière significative depuis la rédaction de cet ouvrage, le lecteur est invité à en vérifier l'exactitude avant de les mettre en application.

Cette fiche technique fait partie d'une série de 2 réalisées conjointement par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), l'Université Laval et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

Cette série de fiches concrétise le projet *Approches agroenvironnementales en cultures légumières* réalisé dans le cadre du programme *Initiative d'appui aux conseillers agricoles*, selon les termes de l'entente Canada-Québec sur le Renouveau du Cadre stratégique agricole.



Pour information :

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
2875, boulevard Laurier, 9^e étage
Québec (Québec) G1V 2M2
Téléphone : 418 523-5411
Télécopieur : 418 644-5944
Courriel : client@craaq.qc.ca
Site Internet : www.craaq.qc.ca

© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2008

Publication n° EVC 027

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

Rédaction

Nicolas Samson, M.Sc., agronome, chargé de projet, Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, Québec

Luc Michelot Casséus, candidat au Ph.D., Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, Québec

Léon-Étienne Parent, Ph.D., agronome, professeur-chercheur, Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, Québec

Jean Mathieu Lachapelle, étudiant en agronomie, Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, Québec

Antoine Karam, Ph.D., professeur-chercheur, Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, Québec

Révision

Lucie Caron, agronome, conseillère en productions maraîchères, MAPAQ, Centre de services de Blainville

Gilles Gagné, M.Sc., agronome-pédologue, chercheur, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec

Lotfi Khiari, Ph.D., professeur-chercheur, Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, Québec

Hélène Moore, M.Sc., agronome, conseillère, Club de fertilisation de la Beauce, Sainte-Hénédiène

Annie Pellerin, Ph.D., agronome, conseillère scientifique en fertilisation, MAPAQ, Direction régionale de la Montérégie-Ouest, Saint-Rémi

Robert Robitaille, M.Sc., agronome, analyste en agroenvironnement, MAPAQ, Direction de l'environnement et du développement durable, Québec

Éric Thibault, agronome, PleineTerre SENC, Napierville

Coordination et édition

Chantale Ferland, M.Sc., chargée de projets aux publications, CRAAQ, Québec

Joanne Lagacé, chargée de projets, CRAAQ, Québec

Lyne Lauzon, biologiste, coordonnatrice aux publications, CRAAQ, Québec

Mise en page et conception graphique

Jocelyne Drolet, agente de secrétariat, CRAAQ, Québec

Photo de la page couverture

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
Objectifs	1
Matériel et méthodes.....	2
Résultats et discussion.....	3
<i>Le pH des sols</i>	3
<i>Le phosphore (P)</i>	4
<i>L'aluminium (Al)</i>	4
<i>La saturation en phosphore</i>	5
Contraintes et commentaires	7
Conclusion	7
Références.....	8

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

Introduction

Le concept de l'indice de saturation des sols en phosphore (P) selon la méthode d'extraction Mehlich-III (M-III) et exprimé par l'indice $(P/Al)_{M-III}$, a amélioré la gestion des fertilisants phosphatés de la pomme de terre et du maïs en reliant la disponibilité du P à sa fixation par l'aluminium (Al) du sol (Khiari *et al.*, 2000; Pellerin *et al.*, 2006). Les essais de fertilisation phosphatée effectués au Québec au cours des dernières années indiquent que l'indice $(P/Al)_{M-III}$ décrit mieux la réponse des cultures aux ajouts d'engrais phosphatés que la seule mesure du P (P_{M-III}), et ce, sans égard à leur niveau de chaulage. Cependant, la disponibilité du P dans le sol, le pH du sol et le chaulage sont interreliés.

La disponibilité du P dans le sol est maximale dans l'intervalle de pH de 5,5 à 7,5. La grande majorité des sols minéraux cultivés au Québec se retrouvent dans cette gamme de pH. La disponibilité du P pour la plante est réduite sous le pH 5,5 en raison de fortes réactions des phosphates avec l'Al et le fer (Fe). Au-dessus du pH 7,5 il se produit de fortes réactions entre les phosphates et le calcium (Ca). La vitesse des réactions entre le P et l'Al dans le sol dépendent du niveau d'Al et de Fe, du pH et de la quantité d'humus (Williams *et al.*, 1957; Murrmann et Peech, 1969; Haynes, 1982). Un pH au-dessus de 7 fait augmenter la proportion de la forme HPO_4^{2-} dans la solution du sol (Barrow, 1984). Or, la forme HPO_4^{2-} est plus fortement adsorbée sur les sites d'échange que la forme $H_2PO_4^-$. Par contre, un pH plus élevé rend le potentiel électrostatique plus négatif, donc moins propice à l'adsorption des ions phosphates. La compétition entre ces deux phénomènes détermine s'il y aura augmentation, diminution ou aucun effet du chaulage sur le P extractible. Donc, le lien entre le chaulage et l'extraction du P est souvent difficile à établir. Le chaulage des sols peut faire diminuer ou augmenter, ou ne produire aucun effet sur la concentration en P extractible (P extrait à l'eau, selon la méthode Bray I, Morgan et Olsen) (Curtin et Syers, 2001). En ce qui concerne l'aluminium, en sol très acide (pH < 5,0), la présence accrue de la forme Al^{3+} dans la solution du sol affecte directement la croissance des racines et peut avoir des conséquences sur la croissance et le rendement des cultures (Oates et Kamprath, 1983). La solution du sol comprend deux formes d'Al, soit la forme facilement échangeable (extrait au KCl 1M; Kamprath, 1970) et la forme peu échangeable retrouvée sous la forme hydroxyde d'Al ($Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$), inclus à l'intérieur ou à la surface des argiles, ou associée à la matière organique. L'ajout de chaux au sol neutralise l'acidité échangeable (Al^{3+} et H^+) (Kamprath, 1970). Cependant, aucune étude n'a documenté l'effet du chaulage sur l' Al_{M-III} et son influence sur l'indice $(P/Al)_{M-III}$.

Dans le contexte actuel de la réglementation sur le P dans les sols, de nombreuses questions ont été soulevées sur le chaulage et son interaction sur le P_{M-III} . Cette fiche technique vise à documenter l'effet direct du chaulage sur l'extraction du P et de l'Al par la méthode Mehlich-III et ses conséquences sur l'indice de saturation en P $(P/Al)_{M-III}$ des sols agricoles du Québec ayant des pH acides à neutres.

Objectifs

- Décrire l'ampleur du changement sur le pH, le P (P_{M-III}) et l'Al (Al_{M-III}) à la suite d'un ajout de chaux dans les sols.

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

- Définir la relation entre l'indice $(P/Al)_{M-III}$ et l'application de chaux dans 64 sols du Québec.

Matériel et méthodes

Les essais regroupent 30 sols limoneux et argileux ayant reçu 3 doses de 0, 4 et 8 t/ha de $CaCO_3$ (pur et ayant un IVA (indice de valeur agricole) de 100 %) ainsi que 34 sols sablonneux ayant reçu 6 doses entre 0 et 7,5 t/ha de $CaCO_3$ (Casséus *et al.*, 2007). Ces sols représentent 19 séries en sols limoneux et argileux et 24 séries en sols sablonneux.

Les grilles de chaulage actuellement utilisées ont été obtenues par des tests d'incubation en laboratoire (van Lierop et Tran, 1983). Nous avons procédé de la même façon pour contrôler la variation de l'indice $(P/Al)_{M-III}$ en fonction du chaulage. Cent g de sol ont été incubés avec de la chaux pendant 14 semaines en laboratoire. Ce délai est suffisant pour permettre la réaction complète du $CaCO_3$ dans le sol en condition d'incubation (Ohno et Erich, 1990). La quantité de $CaCO_3$ ajoutée tenait compte de la masse volumique apparente (densité) du sol en surface et d'une incorporation à une profondeur de 17 cm. Durant l'incubation, les sols étaient soumis à une alternance, aux deux semaines, d'une période d'humectation à la capacité au champ et d'une période de sécheresse. Tous les sols ont été analysés avant et après l'incubation pour déterminer le pH à l'eau (CPVQ, 1997), le P, l'Al et le Ca extraits avec la solution M-III (Mehlich, 1984), la matière organique (CNS-LECO 2000) et la texture (CPVQ, 1997). Les caractéristiques chimiques initiales moyennes des sols sont présentées au tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des 64 sols avant le chaulage

	Unité	Moyenne	Écart type	Minimum	Maximum
pH_{eau}		5,7	0,6	4,7	7,5
Argile	%	17,5	15,8	2,5	60,4
Matière organique	%	3,3	1,5	1,1	9,2
P_{M-III}[†]	mg/kg	129	118	10	619
Al_{M-III}[†]	mg/kg	1321	419	552	2085
(P/Al)_{M-III}	%	10,2	9,7	1,0	41,1
Ca_{M-III}[†]	mg/kg	1580	1426	191	6787

[†] Spectroscopie d'émission dans le plasma (SEP)

Les statistiques ont été réalisées en utilisant la procédure PROC NLIN de SAS (SAS Institute, 1999) et le logiciel Excel (Windows 2003). La première étape dans l'analyse des données était de vérifier s'il y avait un effet linéaire des doses croissantes de $CaCO_3$ sur le pH, le P_{M-III} , l' Al_{M-III} et le $(P/Al)_{M-III}$ après la période d'incubation des sols. En présence d'un effet linéaire significatif, l'équation de la pente de la droite donnait le taux de variation de P_{M-III} , Al_{M-III} et $(P/Al)_{M-III}$ avec l'ajout de l'équivalent d'une tonne de chaux. Les unités pour P_{M-III} et Al_{M-III} étaient en mg par kg (ppm). Par exemple, le taux de changement de l'indice $(P/Al)_{M-III}$ par unité de dose de chaux était calculé comme suit :

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

$$Taux = \frac{\Delta(P/Al)_{M-III} (\%)}{\Delta dose (t/ha)}$$

Où Δ est la différence entre une valeur finale et une valeur initiale de la variable considérée. Par exemple, si l'ajout de 2 tonnes de chaux par hectare fait augmenter le $(P/Al)_{M-III}$ de 10,0 % à 10,6 %, le taux d'augmentation de l'indice de saturation $(P/Al)_{M-III}$ par tonne de chaux apportée est de :

$$Taux = \frac{(10,6 - 10,0)\%}{(2 - 0) t/ha} = \frac{0,30\%}{t/ha}$$

Résultats et discussion

Des formes de réponse distinctes du pH, du P_{M-III} et de Al_{M-III} aux ajouts de chaux ont été observées selon la teneur en argile des sols. Les sols ayant un contenu de moins de 20 % d'argile ont répondu différemment à l'application de chaux par rapport aux sols ayant un contenu en argile de 20 % et plus. L'indice $(P/Al)_{M-III}$ n'a pas été influencé par la texture du sol lors de l'ajout de chaux.

Le pH des sols

Dans les sols ayant 20 % et plus d'argile, l'augmentation du pH à la suite de l'ajout d'une tonne de chaux a été plus faible en raison d'un pouvoir tampon plus élevé de ces sols (Tableau 2). Ainsi, le taux de variation du pH par tonne de chaux ajoutée était plus faible en sols argileux qu'en sols sablonneux.

Tableau 2. Taux de variation du pH par tonne de $CaCO_3$ ajoutée, en relation avec la texture du sol

Argile (%)	Moyenne (Δ pH / t de $CaCO_3$)	Écart type
< 20	0,28	0,12
\geq 20	0,16	0,05

Dans les sols sablonneux et limoneux contenant moins de 20 % d'argile, le taux d'augmentation du pH par tonne de chaux diminuait avec la quantité de matière organique du sol en raison du pouvoir tampon de la matière organique du sol (Figure 1). Ce phénomène ne s'est pas produit dans les sols mieux tamponnés contenant 20 % d'argile et plus.

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

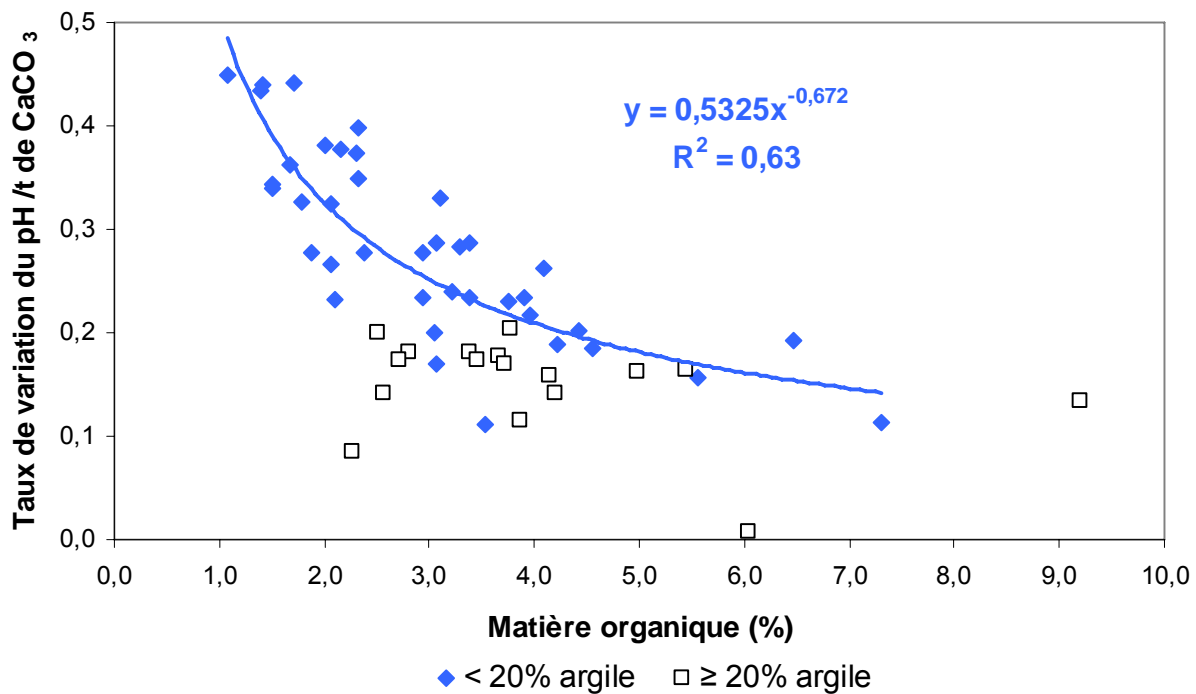


Figure 1. Relation entre le taux de variation du pH par tonne de chaux apportée en fonction du contenu du sol en matière organique

Le phosphore (P)

Lors de nos essais, l'ajout de chaux a fait augmenter, diminuer ou n'a montré aucun effet sur le P extractible au M-III dans respectivement 58 %, 7 % et 35 % des sols à l'étude. En moyenne, un apport de chaux dans les sols sablonneux (< 20 % d'argile) a fait diminuer légèrement le P extractible au M-III, mais la variation dans les réponses était très grande (Tableau 3). À l'opposé, dans les sols contenant 20 % et plus d'argile, le chaulage a fait augmenter le P extrait au M-III du sol.

Tableau 3. Taux de variation du P_{M-III} par tonne de CaCO₃ selon la texture du sol

Argile (%)	Moyenne (Δ P _{M-III} (mg/kg)/t de CaCO ₃)	Écart type
< 20	- 0,4	2,7
≥ 20	1,3	0,7

L'aluminium (Al)

Les concentrations en Al extrait selon la méthode M-III diminuent de 9,8 à 23,5 mg Al/kg de sol à chaque tonne de CaCO₃ apportée en fonction de la teneur en argile des sols (Tableau 4). Les sols podzoliques à texture grossière, qui dominent les sols contenant moins de 20 % argile, contiennent plus d'Al facilement échangeable que les sols gleysoliques regroupant surtout les sols ayant 20 % et plus d'argile (Tableau 5), ce qui explique que la teneur en Al_{M-III} de ces sols diminue de façon plus importante (Tableau 4).

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

Tableau 4. Taux de variation de l'Al_{M-III} par tonne de CaCO₃, en relation avec la texture du sol

Argile (%)	Moyenne (Δ Al _{M-III} (mg/kg) /t de CaCO ₃)	Écart type
< 20	- 23,5	11,3
≥ 20	- 9,8	3,9

Tableau 5. Concentration moyenne en Al_{M-III} initiale des 64 sols selon leur classe texturale

Argile (%)	Moyenne (Mg Al _{M-III} /kg)	Écart type
< 20	1446	432
≥ 20	1024	159

La saturation en phosphore

Le chaulage a des effets variables sur le P mais assez prévisibles sur l'Al. Cependant, l'effet du chaulage sur le rapport (P/Al)_{M-III} n'a jamais été mesuré. L'indice (P/Al)_{M-III} avant le chaulage des sols s'est avéré le plus approprié pour interpréter l'effet de l'apport de chaux sur l'état du phosphore dans les sols. Aucune relation n'a été trouvée entre la variation de l'indice (P/Al)_{M-III} et les autres propriétés du sol comme la matière organique, la texture et le pH. Ces paramètres n'ont pas influencé le modèle présenté à la figure 2 et au tableau 6.

Le modèle de la figure 2 permet de déterminer l'impact de l'ajout d'une tonne de chaux pure et réactive à 100 % sur l'indice (P/Al)_{M-III} dans un intervalle entre 1 % et 41 % de saturation. Il y a un taux d'augmentation rapide jusqu'à un indice de saturation en P de 12 %. Au-delà de 12 %, la pente de la relation s'adoucit. Comme la réponse du P au chaulage était variable, c'est la réponse négative de l'Al au chaulage (Tableau 4) qui a affecté davantage l'indice (P/Al)_{M-III}. Le tableau 6 indique comment évoluera l'indice (P/Al)_{M-III} à la suite de l'ajout de 1,0, 2,5 et 5,0 t/ha CaCO₃, pour divers indices de (P/Al)_{M-III} avant chaulage. Ces résultats vont dans le même sens que le concept selon lequel le chaulage des sols acides fait augmenter la biodisponibilité du P pour les plantes. En effet, le chaulage favorise l'absorption du P par la plante en diminuant la proportion d'Al soluble dans le sol (Edwards, 1991). Malgré l'augmentation de l'indice de saturation (P/Al)_{M-III} à la suite de l'ajout de chaux, l'impact demeure minime.

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

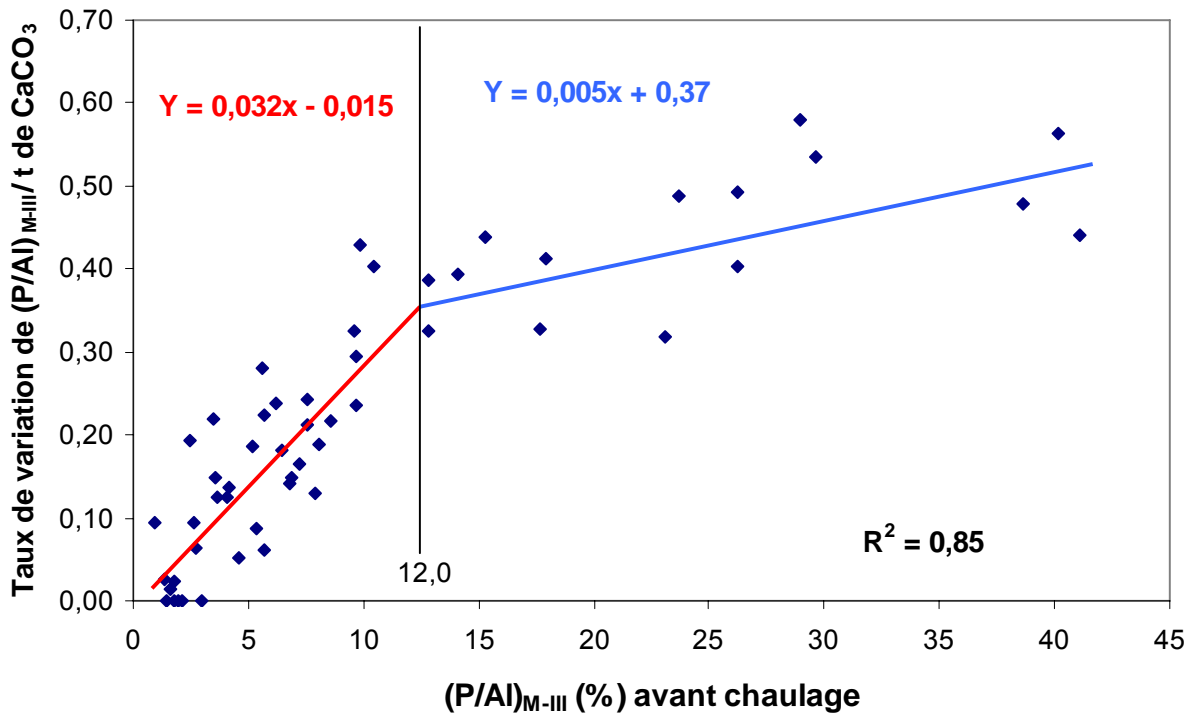


Figure 2. Taux de variation de l'indice $(P/Al)_{M-III}$ par tonne de chaux apportée en fonction de l'indice $(P/Al)_{M-III}$ initial (avant le chaulage)

Tableau 6. Évolution de la saturation en P à la suite d'une application de 1,0, 2,5 et 5,0 t/ha de $CaCO_3$ en fonction de l'indice $(P/Al)_{M-III}$ initial (avant chaulage)

$(P/Al)_{M-III}$ avant chaulage	$(P/Al)_{M-III}$ 1,0 t $CaCO_3/ha$	$(P/Al)_{M-III}$ 2,5 t $CaCO_3/ha$	$(P/Al)_{M-III}$ 5,0 t $CaCO_3/ha$
(%)			
1,0	1,0	1,1	1,1
2,0	2,1	2,1	2,3
5,0	5,1	5,4	5,7
10,0	10,3	10,8	11,5
12,0	12,4	12,9	13,9
15,0	15,5	16,1	17,3
20,0	20,5	21,1	22,3
25,0	25,5	26,3	27,5
30,0	30,5	31,3	32,7
35,0	35,5	36,4	37,8
40,0	40,6	41,5	42,9

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

Contraintes et commentaires

La décision de chauler ne doit pas être remise en question par le modèle proposé dans cette fiche, car l'impact sur l'augmentation de l'indice de saturation $(P/Al)_{M-III}$ demeure minime. De plus, ce modèle ne tient pas compte des prélèvements par la plante. Dans ce contexte, l'analyse des sols, idéalement avant chaulage, demeure la façon appropriée de suivre l'évolution du P_{M-III} et de l' Al_{M-III} .

Conclusion

La présente étude démontre que le chaulage influence quelque peu l'indice $(P/Al)_{M-III}$. Les sols dont l'indice $(P/Al)_{M-III}$ est inférieur à 12 % ont subi des variations de 0 à 0,37 unité de pourcentage de $(P/Al)_{M-III}$ par tonne de chaux pure et réactive à 100 %. Dans les sols ayant un indice $(P/Al)_{M-III}$ supérieur à 12 %, le chaulage a augmenté le $(P/Al)_{M-III}$ au taux de 0,37 à 0,58 unité de pourcentage de $(P/Al)_{M-III}$ par tonne de chaux. Cette étude indique donc qu'il y a une augmentation de l'indice $(P/Al)_{M-III}$ à la suite de l'ajout de chaux, mais avec un impact minime, en considérant les doses de chaux généralement appliquées aux sols. L'analyse de sol à des intervalles réguliers demeure la solution à privilégier pour bien suivre l'évolution du P_{M-III} et de l' Al_{M-III} .

Influence du chaulage sur la saturation en phosphore des sols minéraux (extrait au Mehlich III)

Références

- Barrow, N.J. 1984. *Modeling the effects of pH on phosphate sorption by soils*. Journal of Soil Science 35: 283-297.
- Casséus, L.M.C., A. Karam et L.E. Parent. 2007. *Relation entre le pH et le rapport P/Al de quelques sols sablonneux amendés avec de la chaux*. 21^e Congrès annuel de l'Association québécoise de spécialistes en sciences du sol (AQSSS) : « Les sols en milieux froids - Soils in cold environments ». 3-7 juin, Duchesnay, Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier, Québec.
- CPVQ. 1997. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux, 2^e mise à jour*. Agdex 533. Conseil des productions végétales du Québec inc. 74 p.
- CRAAQ. 2003. *Guide de référence en fertilisation*. 1^{re} édition. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 294 p.
- Curtin, D. et J.K. Syers. 2001. *Lime-induced changes in indices of soil phosphate availability*. Soil Science Society of America Journal 65: 147-152.
- Edwards, A.C. 1991. *Soil acidity and its interactions with phosphorus availability for a range of different crop types*. Dans : R.J. Wright *et al.* (édit.) Plant-soil interactions at low pH. p. 299-305.
- Haynes, R.J. 1982. *Effect of liming on phosphorus availability in acid soils*. Plant and Soil 68: 289-308.
- Khiari, L., L.E. Parent, A. Pellerin, R.A. Alimi, C. Tremblay, R.R. Simard et J. Fortin. 2000. *An agri-environmental phosphorus saturation index for acid coarse-textured soils*. Journal of Environmental Quality 29: 1561-1567.
- Mehlich, A. 1984. *Mehlich-3 test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant*. Communications Soil Science and Plant Analysis 15: 1409-1416.
- Murrman, R.P. et M. Peech. 1969. *Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils*. Soil Science Society of America Proceedings 33: 205-210.
- Ohno, T. et M.S. Erich. 1990. *Effect of wood ash application on soil pH and soil test nutrients levels*. Agriculture, Ecosystems and Environment 32: 223-239.
- Pellerin, A., L.E. Parent, C. Tremblay, J. Fortin, G. Tremblay, C.P. Landry et L. Khiari. 2006. *Agri-environmental models using the Mehlich-III soil phosphorus saturation index for corn in Quebec*. Canadian Journal of Soil Science 86: 897-910.
- Van Lierop, W. et T.S. Tran. 1983. *Détermination du besoin en chaux des sols minéraux et organiques par la méthode SMP*. Agdex 534. Conseil des productions végétales du Québec inc. Québec.
- Williams, E.G., N.M. Scott et M.J. McDonald. 1957. *Soil properties and phosphate sorption*. Journal of The Science of Food and Agriculture 9: 551-559.