

GUIDE AGRO-ENVIRONNEMENTAL DE FERTILISATION

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 1999

Bibliothèque nationale du Canada

ISBN 2 550-34329-8

2 H

EN990175

Sommaire

Modalités d'échantillonnage et d'analyse du sol	5
Évaluation du prélèvement en phosphore de la partie récoltée des cultures	13
Suivis du phosphore requis dans un plan agro-environnementale de fertilisation	15

MODALITÉS D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE DU SOL

La présente section décrit la méthode d'échantillonnage, le contenu du rapport d'échantillonnage du sol ainsi que les méthodes d'analyse (aluminium et phosphore) et d'évaluation du pourcentage de saturation en phosphore du sol auxquels le *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA) fait référence.

1. Méthode d'échantillonnage du sol¹

L'utilisation des engrais minéraux, des déjections animales, du compost de ferme et de différentes autres matières résiduelles fertilisantes occupe une part importante des dépenses liées aux productions végétales. La nécessité d'améliorer les rendements et la qualité des récoltes, l'augmentation des coûts des engrais minéraux et la hausse des coûts de la gestion des matières fertilisantes dans un but de minimiser le risque de contamination du sol et de l'eau en sont les causes. Dans cette perspective, il devient important de n'apporter au sol que les quantités d'éléments nutritifs requises pour l'obtention d'un rendement optimum.

Les productrices et producteurs agricoles doivent connaître les sols de leur exploitation. Ils doivent apporter une grande attention aux éléments nutritifs disponibles dans ces sols. L'analyse d'un échantillon représentatif des différents types de sol ou des différentes parcelles de leur exploitation leur en donnera une bonne connaissance et leur permettra d'utiliser des matières fertilisantes d'une façon plus rationnelle.

1.1 Fréquence d'échantillonnage

L'analyse de sol servant à la production d'un plan agro-environnemental de fertilisation (PAEF) ou au suivi régulier de la teneur du sol en phosphore doit être représentative du contenu en éléments fertilisants du sol à fertiliser. Elle doit toujours dater de moins de cinq ans. Toutefois, suite au recours à une fertilisation fortement excédentaire en phosphore, par exemple, utilisant des déjections animales ou du compost de ferme selon le besoin en azote spécifié dans les *Grilles de référence en fertilisation* publiées par le Conseil des productions végétales du Québec inc. (AGDEX 540, 2^e édition, 1996), l'analyse doit dater de moins d'un an. C'est aussi le cas lorsqu'il est prévisible que la fertilisation depuis la dernière analyse de sol a modifié la limite maximale d'application de phosphore à laquelle une parcelle est soumise.

¹ Tiré et adapté de :

CPVQ, 1980. Analyse de sol. Prélèvement d'un échantillon de sol. Conseil des productions végétales du Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 8 pages.

En ce qui concerne la fréquence d'échantillonnage et d'analyse pour effectuer le suivi régulier de la teneur en phosphore du sol exigée au RRPOA, il faut s'en remettre à ce qui est prévu à la section traitant de cet aspect.

1.2 Période d'échantillonnage

Il est préférable de toujours procéder à l'échantillonnage à la même période de l'année, que ce soit en début de saison, en juin ou après la récolte. Il faut toutefois éviter d'attendre la veille des labours, car l'analyse pourrait ne pas être complétée à temps pour permettre l'application d'amendement calcaire ou la fertilisation. En obtenant suffisamment tôt le résultat de l'analyse, on pourra commander la pierre à chaux en temps voulu, l'épandre au moment propice et ne pas retarder indûment les travaux ou encore, avoir son PAEF à temps pour effectuer les premiers travaux de fertilisation d'une campagne de culture.

1.3 Préparation à la prise d'échantillons

La personne ayant à effectuer cette tâche devrait toujours se référer au plan de ferme avant de se rendre aux champs pour prélever les échantillons. Elle doit identifier ces derniers (sur chacun des contenants, indiquer les coordonnées concernant la désignation de la parcelle apparaissant au plan de ferme). Ainsi, il sera facile de lier les résultats à leur provenance à la réception du bulletin d'analyse et de s'en servir lors de la préparation du PAEF.

1.4 Nature du sol

Lorsque la nature du sol est uniforme (même texture, même drainage, même topographie) et qu'il s'agit d'une même parcelle, on peut prendre un seul échantillon provenant d'un minimum de 10 prélèvements effectués sur l'ensemble de la superficie.

S'il existe des variations dans la nature du sol, il peut être souhaitable d'échantillonner séparément, comme dans le cas d'une parcelle différente. Ces changements sont parfois marqués par une différence de couleur ou de texture. Il est alors préférable de prendre séparément les échantillons de sols sableux, limoneux ou argileux.

1.5 *Cueillette d'échantillons*

À l'aide d'une sonde ou d'une pelle ronde et d'un seau, il faut prélever un peu de sol sur une épaisseur de 16,9 cm en sol minéral (sol ayant 30 p. cent ou moins de matière organique) et de 20 cm en sol organique (sol ayant plus de 30 p. cent de matière organique). Il s'agit de faire un minimum de 10 prélèvements en différents points d'une parcelle donnée en la parcourant en zigzag. Pour les parcelles de superficie supérieure à trois hectares, le nombre minimum de prélèvements devrait être porté à 15. Il faut retirer des prélèvements les déchets de culture et de végétation. Le nombre de prélèvements de sol doit être suffisant et les lieux de prélèvement choisis de façon à obtenir une valeur représentative du contenu moyen en phosphore de la couche arable de la parcelle.

Il faut bien mélanger la terre recueillie avec une truelle ou tout autre outil et remplir le contenant identifié au numéro de la parcelle. Il faut éviter de manipuler un échantillon avec les mains et ne se servir que d'outils et de contenants propres.

Il faut éviter de prendre un échantillon ou des prélèvements :

- sur des parcelles ayant été fertilisées depuis moins de 1 mois ;
- en bordure des parcelles ;
- sur les buttes ;
- sur les levées de fossés ou de cours d'eau ;
- aux endroits où il y a déjà eu des amas de déjections animales, de compost de ferme, de matières résiduelles fertilisantes (boues de papetières, etc.) ou de chaux ;
- aux abords de routes où la neige contenant des sels de calcium ou de sodium a été projetée;
- dans les allées de ferme ;
- dans les endroits trop humides (bas fonds).

1.6 *Situations méritant une attention particulière*

1.6.1 Cultures ayant reçu une fertilisation en bandes

Pour une parcelle où il y a eu un apport d'engrais minéraux en bandes, il faut prélever du sol autant sur les rangs qu'entre les rangs, puis mélanger le tout soigneusement de façon à réduire les effets de ce type de fertilisation.

1.6.2 Établissement de cultures à racines profondes

Dans pareils cas, il faut prélever deux échantillons, soit :

- un échantillon de surface tel que décrit précédemment ;

- un échantillon en profondeur, en recueillant les prélèvements dans la couche 16,9 cm ou 20 cm à 40 cm en indiquant sur le contenant qu'il s'agit d'un échantillon pris en profondeur.

2. Rapport d'échantillonnage du sol des parcelles

L'activité d'échantillonnage doit faire l'objet d'un rapport qui précise son déroulement et, surtout, les particularités des échantillons prélevés. Il est important de savoir que la délimitation des parcelles découlera parfois de la nature (composition) des échantillons prélevés.

La parcelle à laquelle fait référence le présent texte est celle précisée à l'article 3 du *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA)*.

Ainsi, après avoir réalisé l'échantillonnage du sol d'une ou plusieurs parcelles, il faut produire un rapport comportant les renseignements suivants :

- nom de la personne ayant effectué l'échantillonnage ;
- date de l'échantillonnage ;
- numéro des parcelles échantillonnées selon le plan de ferme et numéro donné à chaque échantillon ;
- emplacement des points de prélèvement de sol ;
- profondeur d'échantillonnage ;
- nombre de prélèvements composant un échantillon ;
- culture pratiquée ;
- toute information particulière à une ou plusieurs parcelles ayant été échantillonnées à la même date.

3. Méthodes d'analyse du sol

3.1 Détermination de l'aluminium et du phosphore disponible du sol par la méthode Mehlich III²

3.1.1 Introduction

La méthode Mehlich III a été élaborée par Mehlich (1984) comme méthode d'extraction pour plusieurs éléments nutritifs du sol. La solution extractive Mehlich III se compose de CH_3COOH 0,2 M, de NH_4NO_3 0,25 M, de NH_4F 0,015 M, de HNO_3 0,013 M et de EDTA 0,001 M. Cette méthode est actuellement utilisée pour déterminer le phosphore (P) disponible à la plante pour les sols minéraux et organiques du Québec (Tran et Giroux, 1989; Tran *et al.*, 1990).

La méthode Mehlich III permet aussi d'extraire les éléments minéraux échangeables suivants : le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le sodium (Na). Elle sert enfin à la détermination des oligo-éléments suivants : l'aluminium (Al), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn) et le fer (Fe).

3.1.2 Matériel et réactifs

1. Agitateur rotatif
2. Fioles Erlenmeyer, 125 mL
3. Entonnoirs à filtres
4. Papier filtre (Whatman® n° 42)
5. Fioles en plastique jetables
6. Spectrophotomètre pour la colorimétrie conventionnelle à 535 nm pour Al et 882 nm pour P ou appareil d'analyse automatisé Technicon pour P ou spectromètre d'absorption atomique ou spectromètre d'émission au plasma inductif

² Traduit et adapté de :

Tran, T.S. et R.R. Simard, 1993. Mehlich-III-extractable elements. Pages 43-49, Chapitre 6, dans : *Soil sampling and methods of analysis*. M.R. Carter (éd.) pour la Société canadienne de la science du sol. Lewis Publishers, Boca Raton (Floride).

Tran, T.S. *et al.*, 1997. Détermination de P, K, Ca, Mg, Na et des oligo-éléments disponibles du sol par la méthode Mehlich-3. 9 pages dans : *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux*. Conseil des productions végétales du Québec inc. Publication V9706. Agdex 533.

7. Solution extractive Mehlich III (CH_3COOH 0,2 M + NH_4NO_3 0,25 M + NH_4F 0,015 M + HNO_3 0,013 M + EDTA 0,001 M)

a. Solution-mère Mehlich III: (NH_4F 1,5 M + EDTA 0,1 M). Dissoudre 55,56 g de fluorure d'ammonium (NH_4F) dans 600 mL d'eau distillée. Ajouter 29,23 g d'éthylène diamine tétraacétique acide (EDTA) (p.m. 292,24) à ce mélange, dissoudre, compléter à 1 L avec de l'eau distillée, bien agiter et conserver dans une fiole en plastique;

b. Dans un gros contenant en plastique, mettre environ 8 L d'eau distillée, ajouter 200,1 g de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3), 100 mL de la solution-mère Mehlich III, 115 mL d'acide acétique (CH_3COOH), 82 mL d'acide nitrique (HNO_3) 10 % v/v (10 mL de HNO_3 concentré à 70 % dans 100 mL d'eau distillée), dissoudre, compléter à 10 L avec de l'eau distillée et bien agiter;

c. Conserver dans un contenant en plastique.

8. Solutions pour la détermination manuelle du phosphore

a. Solution A : dissoudre 12 g de molybdate d'ammonium [$(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4 \text{H}_2\text{O}$] dans 250 mL d'eau distillée. Dans une fiole de 100 mL, dissoudre 0,2908 g de tartrate d'antimoine potassique [$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$] dans 80 mL d'eau. Transférer ces deux solutions dans une fiole volumétrique de 2 L contenant 1 000 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) 2,5 M (141 mL de H_2SO_4 concentré par litre), compléter à 2 L avec de l'eau distillée, bien agiter et conserver à l'abri de la lumière à 4 °C;

b. Solution B : dissoudre 1,056 g d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dans 200 mL de la solution A; préparer cette solution quotidiennement;

c. Solutions étalons de P : utiliser des solutions certifiées de P ou préparer une solution de 100 mg L⁻¹ de P en dissolvant 0,4393 g de phosphate de potassium mono-basique (KH_2PO_4) dans 1 L d'eau distillée. Préparer des solutions étalons de 0, 2, 4, 6, 8 et 10 mg L⁻¹ de P dans la solution extractive Mehlich III diluée.

La concentration en phosphore dans la solution extractive Mehlich III peut être déterminée par d'autres méthodes colorimétriques, comme Bray-1 ou Bray-2.

9. Solutions pour la détermination automatisée du phosphore par l'appareil Technicon, selon la méthode industrielle modifiée n° 94-70W (Technicon AutoAnalyzer II, 1973)

a. Solutions de molybdate-antimoine : dissoudre 30 g de molybdate d'ammonium [$(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4 \text{H}_2\text{O}$] dans 600 mL d'eau. Ajouter 0,15 g de tartrate d'antimoine potassique [$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$] et compléter le volume à 1 L avec de l'eau distillée;

- b. Acide sulfurique 1 M: diluer 56 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré dans 400 mL d'eau distillée, refroidir la solution. Ajouter 1 mL d'agent Aerosol® 22 et diluer à 1 L avec de l'eau distillée. Cette solution doit être préparée quotidiennement;
- c. Solution d'acide ascorbique : dissoudre 12 g d'acide ascorbique ($C_6H_8O_6$) dans 200 mL d'eau distillée, ajouter 1 mL d'agent mouillant Levor IV et bien mélanger;
- d. Solutions étalons de phosphore : voir la section 8 c.

10. Solutions pour la détermination de l'aluminium par colorimétrie manuelle

a. Ériochrome cyanine R

Dissoudre 0,750 g d'ériochrome cyanine R dans 200 mL d'eau déminéralisée. Ajouter 25 g de NaCl, 25 g de NH_4NO_3 et 2 mL de HNO_3 concentré. Compléter à 1 litre avec de l'eau déminéralisée.

b. Tampon acétate d'ammonium-acide acétique

Dissoudre 320 g d'acétate d'ammonium dans 500 mL d'eau déminéralisée. Ajouter 5 mL d'acide acétique glacial et compléter à 1 litre avec de l'eau déminéralisée.

c. Acide ascorbique

Solution aqueuse de 2 %

d. Solutions étalons d'aluminium

Préparer une gamme de solutions étalons : 0, 0,80, 1,60, 2,40, 3,20 et 4,00 ppm de Al préparées dans une solution Mehlich-III diluée au 1/100 avec de l'eau déminéralisée.

11. Solutions pour la détermination de l'aluminium par absorption atomique

- a. Solution de suppresseur ionique et de suppresseur d'interférence (0,06 % CsCl+0,2 % $LaCl_3$) : dissoudre 3,16 g de chlorure de césium (CsCl) dans 100 mL de chlorure de lanthane ($LaCl_3$ 10 %);
- b. Solution étalon : selon l'instrument utilisé et les concentrations désirées, préparer une série de solutions étalons pour la calibration de l'aluminium.

3.1.3 Procédure

1. Extraction

- a. Peser 3 g ou mesurer 3 mL de sol tamisé à 2 mm dans des fioles Erlenmeyer de 125 mL. Dans le cas des sols organiques, un volume de 3 mL est recommandé;
- b. Ajouter 30 mL de la solution extractive Mehlich III (rapport sol : solution de 1 : 10);
- c. Agiter immédiatement pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif (120 révolutions min^{-1});
- d. Filtrer sur un papier filtre Whatman® n° 42 et recueillir le filtrat dans des fioles en plastique. Procéder le plus rapidement possible aux analyses.

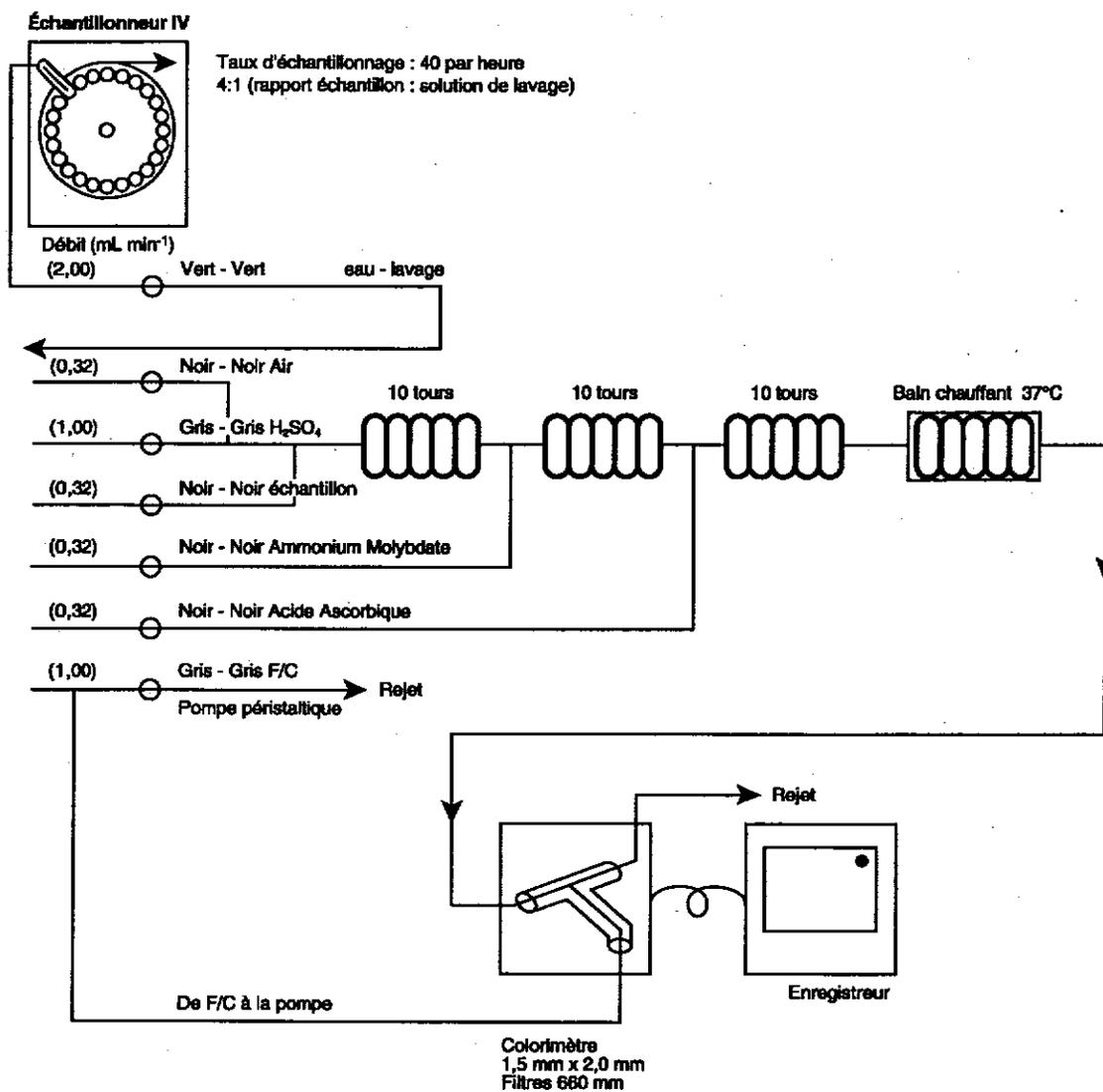
2. Détermination du phosphore par la méthode manuelle de colorimétrie

- a. Pipetter 2 mL du filtrat clair dans une fiole volumétrique de 25 mL;
- b. Ajouter 15 mL d'eau distillée et 4 mL de la solution B, diluer à 25 mL avec de l'eau distillée et bien mélanger;
- c. Après 10 minutes de développement de la couleur, mesurer l'absorbance à 882 nm.

3. Détermination du phosphore par la méthode automatisée (Technicon® AutoAnalyzer®)

- a. Mettre en marche les différents modules de l'appareil d'analyse automatisée Technicon au moins 30 minutes au préalable;
- b. Placer chacun des tubes dans leur réactif respectif (voir schéma à la figure 1). Laisser pomper pendant 20 minutes afin que le système s'équilibre;
- c. Ajuster la ligne de base avec la solution extractive Mehlich III et le niveau d'absorbance maximale de l'enregistreur avec la solution étalon contenant la concentration en phosphore la plus élevée;
- d. Disposer les solutions étalons et les filtrats de sol sur l'échantillonneur et le mettre en marche. Utiliser de l'eau distillée avec quelques gouttes d'agent mouillant Levor IV comme solution de lavage.

Figure 1. Schéma de fonctionnement pour le dosage du phosphore disponible dans le sol par la méthode Mehlich III, à l'aide de l'appareil d'analyse automatisée Technicon.



4. Détermination de l'aluminium par colorimétrie manuelle

- a. Pipetter 1 mL de filtrat dans une fiole jaugée de 100 mL. Compléter au trait de jauge avec de l'eau déminéralisée;
- b. Prélever 1 mL du filtrat dilué au 1/100 (ou du standard) dans un tube à colorimétrie ;
- c. Ajouter 2,4 mL d'eau déminéralisée;
- d. Ajouter 0,5 mL de la solution d'ériochrome cyanine R ;
- e. Ajouter 1,0 mL de tampon acétate d'ammonium-acide acétique;
- f. Ajouter 0,1 mL d'acide ascorbique 2 %. On peut mélanger préalablement les réactifs des étapes c à f de la façon suivante : 48 mL d'eau déminéralisée, 10 mL de la solution d'ériochrome cyanine R, 20 mL de tampon acétate d'ammonium-acide acétique et 2 mL d'acide ascorbique 2 %. Prélever 4,0 mL du mélange de réactifs et continuer à l'étape g;
- g. Agiter pour homogénéiser et laisser reposer 20 minutes;
- h. Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 535 nm.

Si la concentration est trop élevée, diluer le filtrat au 1/100 et répéter les étapes b à h en tenant compte de la dilution dans le calcul final.

5. Détermination de l'aluminium par absorption atomique

- a. Les extraits (Mehlich-III) du sol sont dosés par l'absorption atomique conventionnelle en présence d'un suppresseur ionique et d'un suppresseur d'interférence combinés (chlorure de césium 0,06% + chlorure de lanthane 0,2%, réactif n° 6), à raison de 1 mL par 50 mL d'extrait dilué.
- b. Pour éviter toute précipitation simultanée de CsCl et de LaCl₃ en présence de l'extrait de Mehlich-III, il est préférable de faire des dilutions dans l'eau déminéralisée. Les dilutions dans l'eau diminuent aussi la concentration des sels dissous déposés à la surface du brûleur.

Exemple de dilution 1/10 :

- 5 mL de l'extrait de sol ;
- 1 mL de solution «suppresseur» ;
- compléter avec l'eau à 50 mL.

c. Les solutions étalons sont également diluées en milieu aqueux.

6. Détermination de l'aluminium et du phosphore par la méthode de spectrométrie au plasma inductif

Les extraits de sol (Mehlich III) peuvent être dosés directement par émission au plasma sans l'addition de standard interne ou de suppresseur d'interférence. Les paramètres instrumentaux et les caractéristiques d'optique du spectromètre d'émission au plasma sont différents d'un instrument à l'autre, et il faut les calibrer en conséquence. L'aluminium présent dans l'extrait de sol peut produire une interférence affectant le canal du phosphore. Il est recommandé d'intégrer un facteur de correction, si nécessaire. Dans le cas des sols riches en matière organique (% M.O. > 5), les teneurs en phosphore dosées par émission au plasma peuvent être plus élevées que celles dosées par colorimétrie. Cependant, cette différence n'affectera pas suffisamment la classe de fertilité du sol analysé.

Références

Mehlich, A., 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.

Technicon Auto-Analyzer II, 1973. Orthophosphate in water and wastewater. Industrial method No. 94-70W.

Tran, T.S. et M. Giroux, 1989. Évaluation de la méthode Mehlich-III pour déterminer les éléments nutritifs (P, K, Ca, Mg, Na) des sols du Québec. *Agrosol* 2: 27-33.

Tran, T.S., M. Giroux, J. Guilbault et P. Audesse, 1990. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Québec soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 1-28.

4. Pourcentage de saturation du sol en phosphore

En matière de fertilisation, il existe actuellement une problématique de qualité de l'eau liée à la mauvaise gestion du phosphore de toutes provenances. Dans le RRPOA, la limitation d'utilisation des matières fertilisantes phosphatées est établie à partir de deux paramètres, à savoir : la teneur et le pourcentage de saturation du sol en phosphore. La teneur du sol en phosphore indique le niveau de fertilité du sol. Le pourcentage de saturation du sol en phosphore renseigne sur la proportion des sites de fixation déjà occupés par cet élément. Ce dernier paramètre est en lien avec la capacité de fixation du sol en phosphore, qui se définit comme le pouvoir d'un sol à retenir une quantité de phosphore donnée. Les deux paramètres précédents fournissent une indication du risque environnemental que la présence du phosphore représente.

Au Québec, la teneur du sol en phosphore est mesurée en utilisant l'extractif Mehlich III. Certains extractifs très efficaces permettent de mesurer la capacité de fixation du sol en phosphore. La solution Mehlich III en est un. Dans nos conditions de sol, des travaux effectués par Giroux et Tran (1996) montrent qu'il existe une très bonne relation entre la

teneur en aluminium extrait avec la solution Mehlich III et la capacité de fixation du sol en phosphore. Chacune de ces valeurs est habituellement fournie dans les rapports d'analyse de sol.

Giroux et Tran (1996) démontrent également la valeur de deux indices de saturation du sol en phosphore : le rapport P Mehlich III / Al Mehlich III et celui du P Mehlich III / capacité de fixation du phosphore. Ils ont obtenu une forte relation entre ces deux indices. Ainsi, la capacité de fixation permet de déterminer facilement le pourcentage de saturation et, d'un point de vue pratique, cela fait en sorte que nous disposons d'un outil de diagnostic agro-environnemental fiable à même les données fournies par le bulletin d'analyse du sol.

Comme nous venons de le voir, le pourcentage de saturation en phosphore du sol est le rapport de la teneur en phosphore sur la teneur en aluminium du sol d'une parcelle, tous deux extraits par la solution Mehlich III. Cette valeur se calcule de la façon suivante :

$$[\text{teneur en phosphore M-3}^3 \text{ (kg P/ha) / teneur en aluminium M-3 (mg Al/kg sol) x } 2,2^4] \times 100$$

Référence

Giroux, M. et T.S. Tran, 1996. Critères agronomiques et environnementaux liés à la disponibilité, la solubilité et la saturation en phosphore des sols agricoles du Québec. Agrosol 9 (2) : 51-57.

³ M-3 : extractif Mehlich III

⁴ Facteur de transformation : mg Al/kg sol en kg Al/ha sur une épaisseur de 16,9 cm de sol

ÉVALUATION DU PRÉLÈVEMENT EN PHOSPHORE DE LA PARTIE RÉCOLTÉE DES CULTURES

Dans le *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA)*, le prélèvement en phosphore de la partie récoltée de la culture sert de base pour établir la quantité de phosphore pouvant être apporté par les déjections animales et le compost de ferme dans le cadre d'un plan agro-environnemental de fertilisation (PAEF). Cette valeur s'obtient en multipliant la quantité de phosphore contenue dans une tonne de la partie récoltée d'une culture, obtenue du tableau apparaissant à la page suivante, par le rendement de cette culture. Aussi, cette évaluation doit être basée sur les rendements obtenus par l'exploitation agricole concernée selon les données fournies par la Régie des assurances agricoles du Québec (RAAQ).

Toutefois, il arrive qu'une exploitation agricole n'utilise pas les produits d'assurance offerts par cet organisme ou encore qu'une culture ne soit pas couverte par un programme d'assurance offert par la RAAQ. Dans pareils cas, la personne devant préparer un PAEF devra établir le rendement des cultures de cette exploitation agricole en fonction des méthodes élaborées par la RAAQ à cette fin.

**PRÉLÈVEMENTS EN PHOSPHORE DES CULTURES
SELON LES DIFFÉRENTES PARTIES DE LA PLANTE ⁵**

CULTURE	PARTIE DE LA PLANTE	HUMIDITÉ (%)	QUANTITÉ DE PHOSPHORE PRÉLEVÉE ⁶ (kg P/tonne)
Avoine	grain	14	4,0
	paille	M.S.	1,0
Blé	grain	14	4,0
	paille	M.S.	1,0
Orge	grain	14	4,0
	paille	M.S.	1,0
Maïs - grain	grain	15	3,0
	tige et feuille	M.S.	1,3
Maïs - ensilage	plant entier (partie aérienne)	M.S.	2,5
Seigle	grain	14	3,2
	paille	M.S.	1,0
Foin de graminées moins de 40 % légumineuses	plant entier (partie aérienne)	M.S.	2,5
Foin de légumineuses plus de 40 % légumineuses	plant entier (partie aérienne)	M.S.	3,0
Pomme de terre	tubercules	80	0,5
	fanes (avant le défanage)	M.S.	1,8
Soya	fèves	10	6,0
	fanes	M.S.	2,5
Canola	graine	10	7,0
	plant entier (floraison)	M.S.	2,9
Colza fourrager	plant entier (après floraison)	M.S.	3,2

⁵ Prélèvements tirés des «Grilles de référence en fertilisation» (Agdex 540, 2^e édition) publiées par le Conseil des productions végétales du Québec inc.

⁶ La quantité de phosphore prélevée est exprimée par tonne de récolte pour le pourcentage d'humidité indiqué ou sur une base de matière sèche (M.S.).

SUIVIS DU PHOSPHORE REQUIS DANS UN PLAN AGRO-ENVIRONNEMENTAL DE FERTILISATION

La présente section décrit trois éléments devant apparaître dans le plan agro-environnemental de fertilisation (PAEF) spécifié au *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA), à savoir : le calcul de l'évolution prévisible de la teneur et du pourcentage de saturation du sol en phosphore, le suivi régulier de cette teneur et de ce pourcentage ainsi que la détermination de la capacité de réception ou du surplus de phosphore d'une exploitation agricole.

1. Calcul de l'évolution prévisible de la teneur et du pourcentage de saturation du sol en phosphore

1.1 *Évolution de la teneur du sol en phosphore*

Il est connu qu'un apport de phosphore supérieur aux prélèvements de la partie récoltée d'une culture provoque un enrichissement de la teneur du sol en cet élément. Comme le contenu en azote et en phosphore des déjections animales ne correspond généralement pas aux quantités d'azote et de phosphore prélevées par les différentes cultures, et comme la quantité de phosphore nécessaire pour satisfaire le besoin des cultures est généralement inférieure à la quantité d'azote nécessaire, les doses d'épandage fixées pour combler la totalité ou une forte proportion du besoin en azote des cultures ont pour effet de produire une augmentation plus ou moins importante de la teneur en phosphore du sol. Il peut en être de même dans le cas où des engrais minéraux phosphatés sont utilisés en plus des apports par les déjections animales ou au-delà du besoin des cultures. Cette situation sera d'autant plus amplifiée qu'elle se répétera fréquemment.

Dans le cas des parcelles dont le sol est classifié «pauvre» ou «moyen» en phosphore, un enrichissement contrôlé est souhaitable pour obtenir des rendements de qualité. Cependant, dans le cas des parcelles dont le sol est classifié « bon », « riche » ou « excessivement riche », un enrichissement excessif nuit au maintien de la qualité des eaux de surface, notamment lorsque le niveau de saturation dépasse 10 pour cent (Giroux et Tran, 1996).

Bien que, d'une part, les exigences réglementaires concernant les quantités de phosphore pouvant être épandues sur un sol et une culture donnés se resserrent dans le temps et que, d'autre part, il ne soit pas toujours aisé de procéder rapidement aux ajustements nécessaires pour certaines exploitations agricoles, il est prévisible que pendant une certaine période (à court et moyen terme) des exploitations doivent fertiliser au-delà des quantités souhaitables.

Dans pareilles situations, il est toutefois nécessaire d'évaluer la vitesse d'enrichissement du sol et les conséquences de réduire plus ou moins rapidement les quantités de phosphore épandues sur ses parcelles. Ces données permettent de retenir la méthode de fertilisation la mieux adaptée à la situation de l'exploitation agricole en cause.

En consultant plusieurs travaux de recherche réalisés au Québec, Giroux *et al.* (1996) ont constaté qu'il faut ajouter de deux à cinq kg P/ha aux prélèvements des récoltes pour augmenter la teneur en phosphore Mehlich III d'un sol de 1 kg P/ha. Pour sa part, Beudet (1996) a estimé la progression à long terme de la teneur du sol en phosphore d'une culture de maïs à ensilage à la suite d'une fertilisation avec du lisier de porc. Aussi, il a établi qu'il fallait pratiquer une fertilisation dépassant le prélèvement de la culture de 3,5 kg P/ha pour accroître la teneur en phosphore du sol de 1 kg P/ha. Dans un autre cas, Tran *et al.* (1996) montrent que chaque 3,6 kg P/ha apporté en excédent des prélèvements d'une culture de maïs à ensilage sous forme de lisier de porc sur un loam limoneux Neubois engendre une augmentation de la teneur du sol de 1 kg P/ha. De même, ils ont enregistré une augmentation de 1 kg P/ha sur un loam limoneux Le Bras pour chaque 3,8 kg P/ha épandu sous forme de fumier de bovin en excédent des prélèvements d'une culture de maïs à ensilage. Enfin, Gangbazo *et al.* (1998) ont obtenu sur un loam limoneux Coaticook une augmentation de 1 kg P/ha pour chaque 2,8 kg P/ha apporté en excédent des prélèvements en phosphore d'une culture de maïs à ensilage ainsi qu'une augmentation de 1 kg P/ha pour chaque 10 kg P/ha en excédent des prélèvements pour une prairie. Ces auteurs ont également observé qu'un apport de 2,8 kg P/ha et de 1,4 kg P/ha inférieur aux prélèvements en phosphore, respectivement pour une culture de maïs à ensilage et de prairie, entraînait une réduction de 1 kg P/ha de sol.

Lorsque de telles fertilisations sont prévues, le niveau de fertilité peut s'évaluer en ajoutant à la teneur initiale du sol (selon l'analyse de sol) en phosphore la valeur de l'enrichissement obtenu à la suite d'un excédent de fertilisation par rapport au prélèvement de la récolte, pour chacune des saisons en cause. Cet excédent s'établit en évaluant les apports de phosphore par les matières fertilisantes utilisées, auxquels il faut soustraire le prélèvement de la récolte et appliquer le facteur de conversion retenu dans les travaux cités précédemment ou obtenu à la ferme. Le prélèvement de la récolte est calculé en multipliant le rendement de cette culture, obtenu par l'exploitation en cause selon les données de la Régie des assurances agricoles du Québec, par le prélèvement d'une tonne de la culture récoltée (kg P/tonne récoltée selon les valeurs mentionnées à la section *Évaluation du prélèvement en phosphore de la partie récoltée des cultures* du présent guide).

La teneur finale du sol en phosphore s'établit à partir des données suivantes :

teneur initiale du sol + [(apports - prélèvement) ÷ facteur de conversion] = teneur finale.

Voici un exemple :

Supposons une parcelle cultivée en maïs à grains dont le sol est argileux et le rendement en grains évalué selon la Régie des assurances agricoles du Québec est de 6 800 kg/ha à un taux d'humidité de 15 p. cent. L'analyse du sol de cette parcelle effectuée avec l'extractif Mehlich III montre des teneurs de 132 kg P/ha, 156 kg K/ha et 1128 mg Al/kg.

Les besoins de la culture selon les *Grilles de référence en fertilisation* du Conseil des productions végétales du Québec inc. (AGDEX 540, 2^e édition, 1996) sont de : 150 kg N/ha, 40 kg P₂O₅/ha, 75 kg K₂O/ha.

La parcelle est fertilisée au semis avec des engrais minéraux à raison de 30 kg N/ha, sous forme de NH₄NO₃, et en post-levée avec du lisier d'une maternité de porcs contenant 3,0 kg N/m³, 2,8 kg P₂O₅/m³ et 1,5 kg K₂O/m³, épandu par aéro-aspiration et incorporé en moins d'une semaine.

À la suite d'une fertilisation de 30 kg N/ha sous forme de NH₄NO₃, les besoins de la culture sont donc de : 120 kg N/ha, 40 kg P₂O₅/ha et 75 kg K₂O/ha.

Compte tenu des modalités de fertilisation retenues (type de déjection, moment d'épandage, etc.), du coefficient d'efficacité et des facteurs de perte qui s'appliquent à cette situation, le contenu en azote disponible du lisier utilisé est obtenu comme suit :

$$3,0 \text{ kg N/ha} \times 0,6 \div 1,4 \div 1,0 = 1,3 \text{ kg N}_{\text{disponible}}/\text{m}^3.$$

Dans le cas où la fertilisation est effectuée selon le besoin en azote de la culture, cela représente une dose de :

$$120 \text{ kg N/ha} \div 1,3 \text{ kg N}_{\text{disponible}}/\text{m}^3 = 92 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Cette dose correspond à un apport en phosphore de :

$$92 \text{ m}^3/\text{ha} \times 2,8 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{m}^3 = 258 \text{ kg P}_2\text{O}_5.$$

Un tel type de fertilisation fournit un excédent en phosphore qui s'évalue de la façon suivante :

$$\text{Apport} - \text{Prélèvement} = \text{Excédent}.$$

Sachant que 2,29 kg P₂O₅ correspond à 1 kg P, cet excédent correspond à :

$$258 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} - (6,8 \text{ t/ha} \times 3 \text{ kg P/t} \times 2,29) = 211 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}.$$

Pour les fins du présent exercice, il a été retenu qu'une culture de maïs fertilisée au-delà des prélèvements à raison de 3,5 kg P/ha enrichit le sol de 1 kg P/ha. Cette fertilisation contribue à l'enrichissement du sol en phosphore de la façon suivante :

$$[211 \div (2,29 \times 3,5)] \text{ kg P/ha} = 26 \text{ kg P/ha.}$$

En conséquence, elle aura pour effet d'élever la fertilité du sol au niveau suivant :

$$\text{Niveau initial} + \text{Excédent} = \text{Niveau atteint}$$

$$132 \text{ kg P/ha} + 26 \text{ kg P/ha} = 158 \text{ kg P/ha.}$$

Pour prévoir à long terme la teneur du sol en phosphore de cette parcelle, toute évaluation devra tenir compte de la fertilisation pratiquée à chacune des saisons précédant la date d'échantillonnage. Ainsi, la pratique de fertilisation précédente répétée pendant cinq ans conduira à un niveau de phosphore de 262 kg P/ha, qui accroît le risque environnemental.

1.2 *Évolution du pourcentage de saturation du sol en phosphore*

Le pourcentage de saturation du sol en phosphore nous informe sur le niveau de la disponibilité du phosphore mais également sur le niveau de risque environnemental que représente cet élément pour la qualité de l'eau. En plus d'engendrer une augmentation de la teneur du sol en phosphore, la surfertilisation a donc également pour effet d'élever le pourcentage de saturation du sol en phosphore. Ainsi, lorsqu'un sol contient 1128 mg Al/kg sol et 132 kg P/ha extraits avec la solution Mehlich III et qu'il est fertilisé de telle façon que sa teneur atteigne 262 kg P/ha, le pourcentage de saturation du sol qu'il présente augmente de 5,3 p. cent à 10,6 p. cent. Une parcelle peut donc passer d'une situation agronomique intéressante à une situation environnementale présentant un risque sans nécessairement garantir de meilleures performances agronomiques.

Le calcul de l'évolution du pourcentage de saturation d'un sol en phosphore s'effectue selon l'équation qui suit :

$$[\text{teneur en phosphore M-3}^7 \text{ (kg P/ha)} / \text{teneur en aluminium M-3 (mg Al/kg sol)} \times 2,2^8] \times 100$$

Voici un exemple :

Supposons la même parcelle que dans l'exemple précédent dont la teneur initiale du sol en phosphore serait de 132 kg P/ha et la teneur en aluminium de 1128 mg Al/kg sol extraits

⁷ M-3 : extractif Mehlich III

⁸ Facteur de transformation : mg Al/kg sol en kg Al/ha sur une épaisseur de 16,9 cm de sol

avec une solution Mehlich III et présentant une teneur en phosphore de 165 kg P/ha après fertilisation avec du lisier de porcs de maternité.

Initialement, le pourcentage de saturation est de :

$$[132 \text{ kg P/ha (1128 mg Al/kg sol x 2,2) }] \times 100 = 5,3 \text{ \%}.$$

Après une année de fertilisation, le pourcentage de saturation sera de :

$$[158 \text{ kg P/ha (1128 mg Al/kg sol x 2,2) }] \times 100 = 6,4 \text{ \%}.$$

Après cinq années de fertilisation, le pourcentage de saturation sera de:

$$[262 \text{ kg P/ha (1128 Al/kg sol x 2,2) }] \times 100 = 10,6 \text{ \%}.$$

1.3 *Périodes et modalités*

Le PAEF doit fournir les deux évaluations précédentes pour une période s'étendant de la première campagne de culture couverte par le PAEF jusqu'à la date de mise en vigueur de la deuxième phase de la norme sur le phosphore. Toutefois, cette période ne peut être inférieure à cinq ans. Plus précisément, il faut produire des valeurs pour la première campagne de culture où la norme de la première phase et de la deuxième phase entrent en vigueur. Une fois ces dates atteintes, les évaluations devront être produites pour une date clôturant une période minimale de cinq ans.

Les évaluations doivent être produites pour chaque parcelle d'une exploitation agricole.

La production des évaluations doit tenir compte de la fertilisation prévue et de la rotation des cultures. Le facteur de conversion des quantités de phosphore apportées en excès des prélèvements à employer pour effectuer les évaluations est de 3,5 kg P/ha pour augmenter la teneur en phosphore du sol de 1 kg P/ha, ou toute valeur justifiée avec des données par le rédacteur du PAEF (travaux de recherche effectués au Québec ou données provenant de l'exploitation agricole en cause).

Références

Gangbazo, G., A.R. Pesant et G.M. Barnett, 1998. Effets de l'épandage des engrais minéraux et de grandes quantités de lisier de porc sur l'eau, le sol et les cultures. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. Direction des écosystèmes aquatiques. 46 pages.

Giroux, M., D. Carrier et P. Beaudet, 1996. Problématique et méthode de gestion des charges de phosphore appliquées aux sols agricoles en provenance des engrais de ferme. *Agrosol* 9 (1) : 36-45.

Giroux, M. et T.S. Tran, 1996. Critères agronomiques et environnementaux liés à la disponibilité, la solubilité et la saturation en phosphore des sols agricoles du Québec. *Agrosol* 9 (2) : 51-57.

Tran, T.S., D. Côté et A. N'Dayegamiye, 1996. Effets des apports prolongés de fumier et de lisier sur l'évolution des teneurs du sol en éléments nutritifs majeurs et mineurs. *Agrosol* 9 (1) : 21-30.

2. Suivi régulier de la teneur et du pourcentage de saturation du sol en phosphore

La seule façon connue d'effectuer un suivi de l'évolution de la teneur et du pourcentage de saturation du sol en phosphore consiste à en mesurer les contenus en phosphore et en aluminium extraits avec la solution Mehlich III.

Le suivi régulier prévu au RRPOA a pour objectif de mesurer l'évolution réelle de la teneur et du pourcentage de saturation en phosphore du sol. À partir de ces données, il sera plus facile de planifier un usage optimal des matières fertilisantes de l'exploitation agricole en cause ou encore des déjections animales et du compost de ferme à exporter ou à importer.

Ainsi, dans le cas où une parcelle reçoit uniquement des engrais minéraux, le suivi consiste à prélever un échantillon de sol et à mesurer sa teneur en phosphore au minimum une fois aux trois ans. Dans les autres cas, il doit s'effectuer au minimum une fois par deux ans.

3. Détermination de la capacité de réception ou du surplus de phosphore d'une exploitation agricole

Toute exploitation agricole fertilisant selon un PAEF et recevant des déjections animales ou du compost de ferme d'une ou plusieurs autres exploitations doit déterminer sa capacité de réception du phosphore selon la norme de fertilisation en vigueur. De même, toute exploitation fertilisant selon un PAEF et ne pouvant pas utiliser la totalité de ses déjections ou de son compost de ferme de façon à respecter les quantités d'azote et de phosphore prévues à la norme de fertilisation en vigueur doit déterminer le surplus de phosphore dont elle devra disposer d'une autre façon. La présente section vise à préciser la démarche encadrant la réalisation de ces deux évaluations ainsi que la période et les modalités pour les réaliser.

3.1 *Capacité de réception du phosphore d'une exploitation agricole*

La première étape de cette exigence consiste à établir, à partir des renseignements apparaissant au PAEF, les quantités de phosphore pouvant être épandues sur chacune des parcelles de l'exploitation agricole en fonction de leur teneur et de leur pourcentage de saturation en cet élément, de leur superficie, de la culture pratiquée ainsi que de la fertilisation prévue et spécifiée au PAEF, celle-ci ne devant pas excéder la norme de fertilisation en vigueur. Par la suite, il s'agit de totaliser ces quantités pour l'ensemble des parcelles de l'exploitation. L'étape suivante consiste à établir les quantités de phosphore provenant des déjections animales ou du compost de ferme de l'exploitation.

En dernier lieu, il s'agit de déterminer la capacité de réception du phosphore de cette exploitation en soustrayant les déjections animales et le compost de ferme produits dans celle-ci des quantités pouvant être épandues, telles qu'évaluées précédemment.

$$\text{Capacité de réception} = \begin{array}{l} \text{Quantité de P} \\ \text{pouvant être} \\ \text{épanchée sur} \\ \text{l'exploitation} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Quantité de P provenant} \\ \text{des déjection animales} \\ \text{et du compost de ferme} \\ \text{de l'exploitation} \end{array}$$

3.2 *Surplus de phosphore d'une exploitation agricole*

La présente évaluation est basée sur les mêmes paramètres que l'évaluation de la capacité de réception du phosphore d'une exploitation agricole. Toutefois, la dernière étape de cette évaluation consiste plutôt à déterminer le surplus de phosphore d'une exploitation en soustrayant des apports provenant de ses déjections animales et de son compost de ferme les quantités pouvant être épandues, telles qu'elles ont été évaluées précédemment.

$$\text{Surplus} = \begin{array}{l} \text{Quantité de P provenant} \\ \text{des déjection animales} \\ \text{et du compost de ferme} \\ \text{de l'exploitation} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Quantité de P} \\ \text{pouvant être} \\ \text{épanchée sur} \\ \text{l'exploitation} \end{array}$$

3.3 *Période et modalités*

La présente exigence est de produire des évaluations à différents moments. Ainsi, dans tous les cas, il faut effectuer une évaluation pour la première campagne de culture couverte par le PAEF. L'évaluation doit aussi porter sur chacune des années où la première et la deuxième phase de la norme de fertilisation entrent en vigueur. En tout temps, l'évaluation devra couvrir une période minimale de cinq campagnes annuelles de culture.

Ces évaluations pourront être produites en tenant compte de la fertilisation et de la rotation prévues au PAEF, en considérant les valeurs obtenues du calcul de l'évolution prévisible de la teneur et du pourcentage de saturation du sol en phosphore, qui sont elles-mêmes fonction des fertilisations prévues et des rotations des cultures.