

Régies culturales et fertilisations azotée et phosphatée dans une rotation maïs-soya

Gilles Tremblay, agronome, M.Sc., CÉROM, Saint-Bruno-de-Montarville

Collaborateurs : L. Robert, P. Filion, G. Govaerts, R. Mongeau et J. Filiatrault, MAPAQ; J.M. Beausoleil, CÉROM; G. Moreau et T. S. Tran, IRDA.

RÉSUMÉ

Le travail du sol et la fertilisation demeurent des éléments essentiels de la régie en grandes cultures. Afin de vérifier l'effet cumulatif à long terme des fertilisations minérales azotée et phosphatée dans une rotation comportant du maïs (*Zea mays* L.) et du soya (*Glycine max* (L.) Merr.), une étude a été réalisée de 1992 à 2000 sur un sol classé bon en P disponible afin de comparer l'effet de trois niveaux de N (0, 80 et 160 kg N ha⁻¹) et de trois niveaux de P (0, 40 et 80 kg P₂O₅ ha⁻¹) sous deux régies culturales (conventionnelle et réduite). Les régies conventionnelle et réduite ont répondu de façon similaire à la fertilisation minérale azotée et phosphatée et aucune interaction n'existait entre ces deux derniers facteurs. Les rendements de la régie réduite n'ont généralement pas été significativement différents des rendements en régie conventionnelle. Cinq ans après l'implantation des parcelles, la régie réduite affichait généralement une meilleure stabilité structurale du sol que la régie conventionnelle. Bien qu'à court terme, l'apport annuel de 80 kg N ha⁻¹ sur ce type de sol ait permis d'obtenir des rendements en maïs-grain équivalents à ceux obtenus avec 160 kg N ha⁻¹, il serait préférable d'utiliser 160 kg N ha⁻¹ afin d'obtenir de meilleurs rendements à moyen et à long terme. L'effet cumulatif des doses de phosphore apportées annuellement n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement en grains du maïs mais l'accroissement de cette dose a exercé des effets linéaires significatifs sur cette variable à moyen et à long terme.

INTRODUCTION

Le travail du sol (Bharati et al. 1986; Angers et Mehuys 1988; Côté 1988; Weill et al. 1989) et la fertilisation (Demooy et al. 1973; Hooker et al. 1983; Mallarino et al. 1991; Blackmer 1997; Tran et al. 1997) demeurent des éléments essentiels de la régie en grandes cultures. Des études ont montré que le soya (Bharati et al. 1986; Kladivko et al. 1986) ou le maïs (Kladivko et al. 1986) pouvaient être cultivés sous travail réduit du sol sans perte de rendement. Certaines de ces pratiques agricoles de conservation (Kladivko et al. 1986; Vyn et Raimbault 1993) de même que le choix des espèces végétales (Fahad et al. 1982; Angers et Mehuys 1988; Ellsworth et al. 1991) ont eu des effets positifs sur la

stabilité structurale du sol. Le soya réduirait la stabilité structurale du sol comparativement au maïs (Fahad et al. 1982; Ellsworth et al. 1991) mais ce dernier démontrerait moins d'aptitudes à améliorer l'agrégation du sol que les plantes fourragères ou les céréales (Angers et Mehuys 1988).

Les besoins en éléments fertilisants des grandes cultures ont été déterminés principalement à partir de courbes de réponse (Conseil des productions végétales du Québec 1996). Cette approche a permis de formuler une recommandation d'engrais qui est basée sur une analyse de sol (P ou K) et sur l'augmentation probable du rendement suite à l'application de l'engrais (Giroux et Tran 1994). Selon la plupart des recherches, l'apport d'azote minéral a généralement permis d'augmenter les rendements du maïs-grain (Magdoff et Amadon 1980; Motavalli et al. 1992; Schlegel et Havlin 1995; Guertin et al. 1997; Tran et al. 1997) mais n'a pas eu d'impact sur les rendements du soya (Tremblay et Beausoleil 2000). Au Québec, il est recommandé d'apporter de 120 à 170 kg N ha⁻¹ pour le maïs-grain et de 0 à 30 kg N ha⁻¹ pour le soya (Conseil des productions végétales du Québec 1996). L'apport de phosphore minéral n'a pas autant d'effet sur les rendements que l'apport d'azote (Hooker et al. 1983; Guertin et al. 1997). Plusieurs études ont effectivement démontré qu'il y avait peu ou pas d'augmentation de rendement du maïs-grain ou du soya lorsque la richesse des sols en phosphore assimilable par les plantes est supérieure au niveau moyen (Mallarino et al. 1991; McCollum 1991; Guertin et al. 1997; Tremblay et Beausoleil 2000). Pour des sols de teneur moyenne en P, l'augmentation du rendement en maïs-grain par la fertilisation phosphatée serait modérée et les applications de phosphore devraient combler les exportations des récoltes et les autres pertes en P (Hooker et al. 1983; Giroux et Tran 1994; Guertin et al. 1997). Le niveau de fertilité du sol devrait ainsi être maintenu. L'évolution de la teneur en P disponible du sol dépendrait de plusieurs facteurs : des types de sol (Hooker et al. 1983), de la nature et de l'intensité des systèmes culturaux (McCollum 1991; Giroux et Tran 1994) et des quantités appliquées d'engrais organiques et minéraux (Hooker et al. 1983; McCollum 1991). Depuis 1996, les grilles de fertilisation pour les grandes cultures au Québec ont été révisées à la baisse, surtout pour les sols riches en P et en K disponibles (Conseil des productions végétales du Québec 1996). Plusieurs intervenants du milieu agricole se sont toutefois interrogés sur l'effet à moyen et à long terme des niveaux actuellement recommandés dans les grilles de fertilisation des grandes cultures. Afin de vérifier l'effet cumulatif à long terme de la fertilisation minérale azotée et phosphatée, une étude

a été réalisée de 1992 à 2000 sur un sol classé bon en P disponible afin de comparer l'effet de trois niveaux de N et de trois niveaux de P soumis à deux régies culturales pour une rotation maïs-soya.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été réalisée de 1992 à 2000 inclusivement sur un loam sablo-argileux de la série Saint-Blaise. En 1992, cet horizon contenait en moyenne 3.8 % de matière organique, 135 kg de P (Mehlich 3) ha⁻¹ et 303 kg de K ha⁻¹. Le pH eau était de 6.3 et le taux de saturation de P/AI de 4.3 %. Le site expérimental était situé sur les terrains d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à la station de recherche de L'Acadie (45°18' N; 73°21' O). Le site était ensemencé en luzerne comme précédent cultural. Le sol était drainé souterrainement, et la pente était inférieure à 1 %. Les précipitations et les unités thermiques maïs (UTM) proviennent des stations d'Environnement-Canada de L'Acadie (in situ) pour la période de 1994 à 2000 et de Marieville, distante de moins de 20 km du site, pour les années 1992 et 1993 car les données de la station de L'Acadie n'étaient pas disponibles pour ces deux années (Tableau 1).

La rotation comportait du maïs-grain (M) (*Zea mays* L.) et du soya (S) (*Glycine max* (L.) Merr.) et la séquence culturale utilisée de 1992 à 2000 a été la suivante : MMMSMSMSM. L'hybride de maïs-grain Pride K210 (2700 UTM) a été ensemencé en 1992, 1993 et 1994, le cultivar de soya 9071 en 1995 et 1997, l'hybride de maïs-grain Pioneer 3893 (2700 UTM) en 1996, 1998 et 2000 et le cultivar de soya OAC Bayfield en 1999. La fertilisation recommandée pour le sol retenu selon les grilles de référence en fertilisation du Conseil des productions végétales du Québec (1996) était de 17.5 kg P ha⁻¹ et de 0 à 25 kg K ha⁻¹ pour le maïs-grain et de 17.5 kg P ha⁻¹ et de 0 kg K ha⁻¹ pour le soya. Le dispositif expérimental, de type split-plot factoriel en blocs complets, comprenait deux régies culturales (conventionnelle et réduite) en parcelles principales, trois doses de fertilisation minérale azotée (0, 80 et 160 kg N ha⁻¹) et trois doses de fertilisation minérale phosphatée (0, 17.5 et 35 kg P ha⁻¹) en sous-parcelles. L'expérimentation comportait donc un total de neuf combinaisons répétées quatre fois pour chacune des régies culturales. Aucune fertilisation minérale azotée et phosphatée n'a été ajoutée aux parcelles lorsqu'elles étaient ensemencées en soya puisque les producteurs de grandes cultures ont largement adopté cette pratique agricole au Québec. La régie conventionnelle consistait à réaliser un labour à l'automne et d'exécuter de 2 à 3 passages de vibroculteur avant le semis. De 1992 à 1997, la régie réduite correspondait à un système de billons permanents établis au cours de la saison de 1992. Au cours des trois dernières années expérimentales, le billon a été abandonné au profit du semis direct. Les parcelles de 4.5 m de largeur par 25 m de longueur étaient composées de six rangs espacés de 0.76 m avec des écartements entre les parcelles de 0.76 m. Les semis ont été réalisés au cours du mois de mai à l'aide d'un semoir à maïs-grain et les densités de peuplement visées étaient de 450 000 plants ha⁻¹ pour le soya et de 74 000 plants ha⁻¹ pour le maïs-grain. Les grains de soya étaient soigneusement inoculés à l'aide d'une formulation commerciale granulaire de *Bradyrhizobium japonicum* avant le semis. La profondeur de

semis variait de 3 à 4 cm. Le contrôle des mauvaises herbes a été réalisé à l'aide d'herbicides selon les recommandations du Conseil des productions végétales du Québec (1990).

Le phosphore était apporté en bandes lors du semis sous forme de superphosphate triple (0-46-0). L'azote était appliqué à la surface du sol au stade phénologique 2 à 3 feuilles du maïs, sous forme de nitrate d'ammonium (34-0-0), puis incorporé mécaniquement au sol dans les entrerangs. L'évolution de la teneur en phosphore disponible du sol a été évaluée en recueillant des échantillons de sol de l'horizon 0-20 cm au cours du mois de mai en 1993 et au cours des mois d'octobre en 1995, 1998 et 2000. La densité apparente sèche moyenne de cet horizon était de 1.3 g cm⁻³. Chaque échantillon était composé de neuf sous-échantillons et l'échantillonnage a été réalisé dans les deux rangs centraux de chaque parcelle. L'échantillon était séché à l'air, broyé, puis tamisé avant d'être analysé selon la méthode Mehlich-3 (Tran et Simard 1993). La stabilité des agrégats a été évaluée à l'aide d'un appareil de type Yoder à tamisage humide en utilisant des tamis de 2, 1, 0.5 et 0.25 mm d'ouverture. Des échantillons humides de l'horizon de surface (7.5 cm) ont été conservés dans un contenant hermétique de polyéthylène au réfrigérateur à 4 °C pour fin d'analyse. Le diamètre moyen pondéré des agrégats a été évalué selon la méthode de Youker et McGuinness (1956). Les échantillonnages ont été réalisés au cours des mois de mai (après les semis) et de septembre de chaque année de 1993 à 1999.

Le soya et le maïs ont généralement été récoltés durant le mois d'octobre à l'aide d'une moissonneuse-batteuse pour parcelles. Les grains récoltés ont été nettoyés et pesés et les rendements en grains sont exprimés en kg ha⁻¹ sur une base de 14 % d'humidité. Les résultats sont présentés par année pour chacune des variables mesurées et les analyses de variance ont été réalisées à l'aide du progiciel SAS (Statistical Analysis System, Inc. 1987). Les effets ont été jugés significatifs avec $P < 0.05$. D'autre part, puisque la stabilité structurale n'a généralement été influencée que par le facteur régie, la présentation des résultats a été réalisée à l'aide d'un graphe et s'est limitée à l'effet de ce seul facteur.

Les conditions météorologiques rencontrées au cours des neuf années de l'étude ont représenté une gamme variée des conditions de croissance observables dans la région des Basses Terres du Saint-Laurent (Tableau 1). Les accumulations totales d'UTM ont été inférieures à la moyenne observée au cours des saisons 1992 et 1993, similaires à la moyenne au cours des saisons 1994, 1996, 1997 et 2000 et supérieures à la moyenne au cours des saisons 1995, 1998 et 1999.

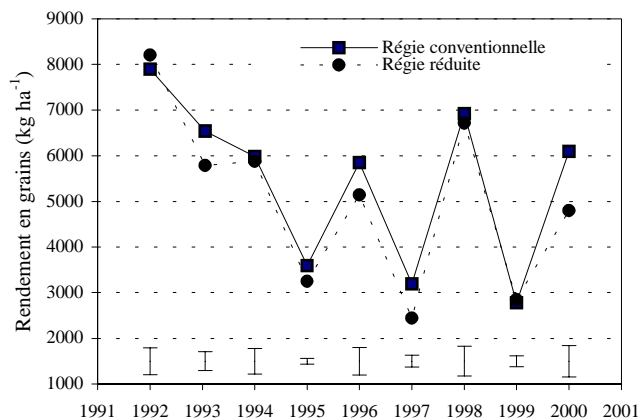
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Régie réduite vs régie conventionnelle

Aucune interaction significative entre les régies (R) et les doses de N et de P de même que pour l'interaction R x N x P n'a été observée pour les différentes variables mesurées. Les doses N et P ont donc exercé un effet similaire sur les deux régies à l'étude. Les rendements en régie réduite n'ont pas été significativement différents des rendements observés en régie

conventionnelle au cours de 6 des 9 années expérimentales (Tableau 2). Bharati et al. (1986), Kladviko et al. (1986) et Weill et al. (1989) avaient aussi démontré que le soya ou le maïs pouvaient être cultivés sous travail réduit du sol sans perte de rendement. Les rendements en grains de la régie réduite ont tout de même été inférieurs aux rendements de la régie conventionnelle aux cours des années 1993, 1995 et 2000. En 1993 et en 2000, les rendements du maïs-grain en régie conventionnelle ont été respectivement supérieurs de 753 et de 1301 kg ha⁻¹ comparativement aux rendements de la régie réduite (Fig. 1).

Fig. 1. Effet des régies sur le rendement en grains en fonction des années. Les barres verticales indiquent l'écart-type de la moyenne pour chacune des années



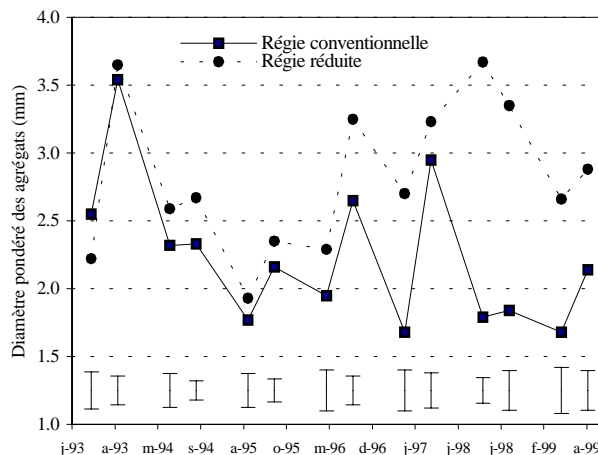
Les rendements moyens du soya en régie conventionnelle ont aussi été supérieurs aux rendements de la régie réduite en 1995. Cette différence significative de rendement en 1995 a probablement été causée par certaines difficultés techniques rencontrées lors du semis des parcelles de la régie réduite. Ces difficultés se sont traduites par des baisses observables de la densité de peuplement ainsi que de l'uniformité de celui-ci, lesquelles baisses ont probablement entraîné les rendements moindres enregistrés en régie réduite.

Stabilité des agrégats

Le diamètre moyen pondéré (DMP) des agrégats du sol de la régie réduite a toujours été supérieur au DMP de la régie conventionnelle sauf lors du premier échantillonnage exécuté en mai 1993 (Fig. 2). Le DMP des agrégats du sol des régies ont généralement augmenté entre les deux échantillonnages réalisés au cours d'une même année (Kladviko et al. 1986; Ellsworth et al. 1991). L'existence de différences significatives entre les régies sur l'agrégation du sol a été observée pour la première fois à la fin de la troisième année expérimentale soit lors de l'échantillonnage de septembre 1994. Le DMP de la régie réduite était alors de 2.67 mm comparativement à 2.33 mm pour la régie conventionnelle. L'absence de différences significatives entre les régies au cours des échantillonnages de mai 1993 à mai 1994 est sans doute explicable par les arrières-effets positifs exercés sur la structure du sol par la luzerne (Angers et Mehuys 1988) qui a constitué le précédent cultural en 1992. Les différences entre

les régies se sont estompées en 1995 avec l'ensemencement de soya. Le retour du maïs dans la rotation en 1996 s'est traduit par une augmentation importante de la stabilité structurale du sol de la régie réduite au cours de l'échantillonnage de septembre avec un DMP de 3.25 mm comparativement à un DMP de 2.62 mm pour la régie conventionnelle. En mai 1997, la stabilité structurale du sol en régie réduite est demeurée supérieure à celle de la régie conventionnelle probablement grâce à l'arrière-effet du précédent maïs. Le soya semble avoir exercé un effet moins marqué sur les agrégats du sol pour la régie réduite au cours de la saison 1997 de telle sorte que les DMP des régies à l'étude n'étaient plus significativement différents lors de l'échantillonnage de septembre 1997. L'utilisation du semis direct depuis mai 1998 a nettement amélioré la stabilité structurale du sol comparativement à la régie conventionnelle. En 1998 et 1999, les DMP de la régie réduite ont été supérieurs de 0.5 à 1.5 mm aux DMP de la régie conventionnelle. Depuis septembre 1996, soit cinq ans après l'implantation des parcelles expérimentales, la régie réduite affichait donc de manière quasi continue une meilleure stabilité structurale du sol (DMP) que la régie conventionnelle (Kladviko et al. 1986; Côté 1988; Vyn et Raimbault 1993).

Fig. 2. Effet des régies sur le diamètre moyen pondéré des agrégats de sol en fonction des dates d'échantillonnage. Les barres verticales indiquent l'écart-type de la moyenne de chacun des échantillonnages

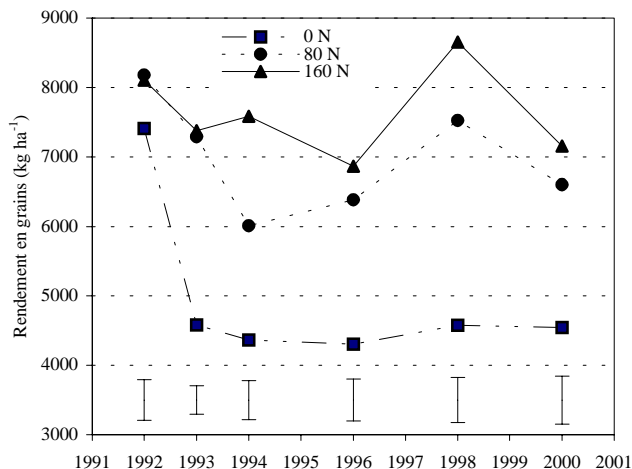


Fertilisation minérale azotée

La fertilisation minérale azotée a eu des effets significatifs importants sur les rendements en grains au cours de toutes les années expérimentales en production de maïs-grain (Tableau 2). Ce résultat est en accord avec ceux de Schlegel et Havlin (1995), Guertin et al. (1997) et Tran et al. (1997). Les composantes linéaires et quadratiques ont aussi été significatives pour chacune de ces années. Les rendements en grains ont rapidement progressé du niveau 0 à 80 kg N ha⁻¹ (Fig. 3). Les augmentations de rendements de la dose 80 à 160 kg N ha⁻¹ ont généralement été beaucoup plus faibles que celles observées de 0 à 80 kg N ha⁻¹ (Schlegel et Havlin 1995;

Guertin et al. 1997). Lors de l'implantation des parcelles, les niveaux 80 et 160 kg N ha⁻¹ ont affiché des rendements similaires avec 8276 et 8250 kg ha⁻¹ tandis que les rendements du niveau 0 kg N ha⁻¹ étaient de 7634 kg ha⁻¹, soit 92 % des rendements mesurés pour les niveaux 80 et 160 kg N ha⁻¹. Magdoff et Amadon (1980) avaient aussi noté un pourcentage

Fig. 3. Effet des doses d'azote sur le rendement du maïs-grain en fonction des années. Les barres verticales indiquent l'écart-type de la moyenne pour chacune des années



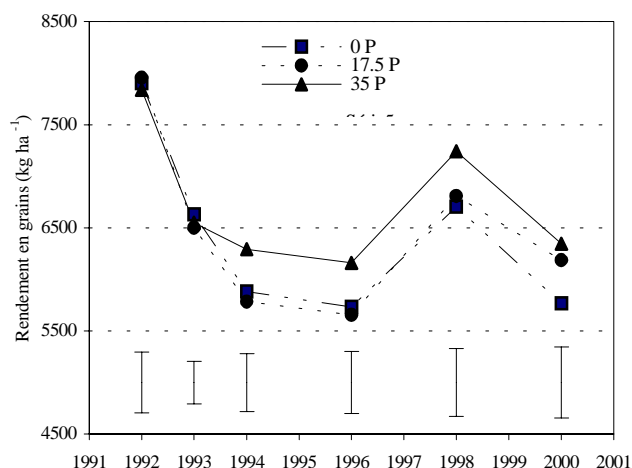
similaire. En 1993, l'effet cumulatif du niveau 0 kg N ha⁻¹ a été très marqué avec des rendements qui ne représentaient alors plus que 66 % des rendements observés de 6952 et de 7022 kg ha⁻¹ respectivement pour les niveaux 80 et 160 kg ha⁻¹. D'autres recherches (Magdoff et Amadon 1980; Hooker et al. 1983; Motavalli et al. 1992) ont indiqué des valeurs similaires à celles obtenues dans la présente étude. Sans aucun apport azoté (0 kg N ha⁻¹), les rendements de maïs-grain ont atteint un plancher en 1993 en se stabilisant à plus ou moins 4500 kg ha⁻¹ et ces rendements ont très peu varié par la suite quelles que soient les conditions climatiques rencontrées au cours des années subséquentes. En 1994, l'effet cumulatif des doses d'azote appliquées lors des trois premières saisons expérimentales s'est soldé par une différence de 1795 kg ha⁻¹ entre les rendements des doses de 80 et 160 kg N ha⁻¹ avec des valeurs respectives de 5850 et de 7645 kg ha⁻¹. L'introduction du soya dans la rotation en 1995 a probablement permis d'apporter un résidu d'azote au maïs de l'année subséquente (Conseil des productions végétales du Québec 1996) et ainsi de réduire les écarts de rendements entre les niveaux 80 et 160 kg N ha⁻¹. Suite à des précédents soya, les écarts de rendements de maïs-grain entre ces deux niveaux se sont amoindris en 1996 (594 kg ha⁻¹), ont augmenté à nouveau en 1998 (890 kg ha⁻¹), pour enfin retomber en 2000 (535 kg ha⁻¹) au niveau observé en 1996. L'écart plus important observé en 1998 pourrait être lié aux conditions climatiques favorables (Tableau 1) enregistrées au cours de cette saison de croissance. Lorsque les conditions édaphiques et climatiques sont propices à un fort rendement, les conditions de croissance seraient aussi favorables pour une bonne fourniture d'azote du

sol (matière organique, résidus, azote résiduel) et la culture s'alimenterait prioritairement de cette source (Motavalli et al. 1992; Blackmer 1997). De 1996 à 1998, les rendements en maïs-grain du niveau 0 kg N ha⁻¹ ont progressé de 6 % comparativement à 15 et 26 % pour les niveaux 80 et 160 kg N ha⁻¹. Les arrières-effets de la fertilisation minérale azotée (matière organique, résidus, azote résiduel) ont sans doute permis d'obtenir de telles augmentations pour les niveaux 80 et 160 kg N ha⁻¹ contrairement au niveau 0 kg N ha⁻¹. Les arrières-effets de la fertilisation minérale azotée n'ont pas été significatifs lors des années de production de soya, soient en 1995, en 1997 et en 1999. Tremblay et Beausoleil (2000) avaient d'ailleurs observé que l'apport d'azote avait peu ou pas d'impact appréciable sur les rendements en grains du soya. À court terme, soit sur un horizon de deux ans, l'apport annuel de 80 kg N ha⁻¹ sur ce type de sol a donc permis d'obtenir des rendements en maïs-grain équivalents à ceux obtenus avec 160 kg N ha⁻¹. L'effet cumulatif de ces doses appliquées de façon annuelle sur le maïs a toutefois démontré qu'il serait préférable d'utiliser 160 kg N ha⁻¹ contrairement à 80 kg N ha⁻¹ afin d'obtenir de meilleurs rendements à moyen et à long terme (Motavalli et al. 1992).

Fertilisation minérale phosphatée

La fertilisation minérale phosphatée n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement pour ce type de sol (Tableau 2). Au cours des deux premières années d'implantation des parcelles, les rendements moyens obtenus ont été similaires pour les trois doses de P (Fig. 4). D'autres chercheurs ont

Fig. 4. Effet des doses de phosphore sur le rendement du maïs-grain en fonction des années. Les barres verticales indiquent l'écart-type de la moyenne pour chaque années



obtenu des résultats similaires aux Etats-Unis (Hooker et al. 1983; McCollum 1991) de même qu'au Québec (Guertin et al. 1997). Bien que l'effet du P n'ait pas été significatif, il existait tout de même une composante linéaire significative de ce facteur (P=0.03) en 1994. Les rendements en grains progressaient de 5850 kg ha⁻¹ pour les doses de 0 et de 17.5 kg P ha⁻¹ à des rendements de 6300 kg ha⁻¹ pour la dose de 35 kg

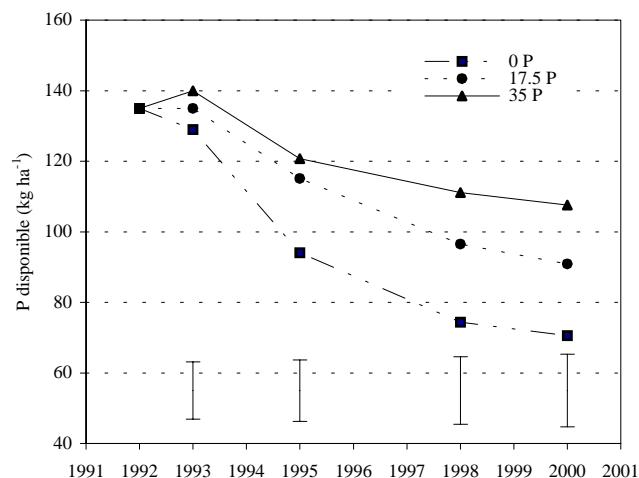
P ha⁻¹. Les arrières-effets de ce facteur n'ont pas été significatifs lors des années en production de soya, soit en 1995, en 1997 et en 1999 (Tableau 2). En 1996, le P n'a exercé aucun effet significatif sur les rendements du maïs-grain bien que l'écart entre les rendements des niveaux 0 et 17.5 kg P ha⁻¹ et du niveau 35 kg P ha⁻¹ ait été d'environ 450 kg ha⁻¹, un écart comparable à celui observé en 1994 qui s'était alors traduit par un effet linéaire significatif du P. L'augmentation des rendements de maïs-grain observée de 1996 à 1998 devrait être liée aux conditions climatiques favorables (Tableau 1) enregistrées au cours de cette saison de croissance (Motavalli et al. 1992; Blackmer 1997). Au cours des deux dernières années en production de maïs-grain, soit en 1998 et en 2000, les composantes linéaires de l'effet du P ont été significatives au seuil de probabilité de P=0.06. L'augmentation de la dose de P a permis de faire augmenter linéairement les rendements en grains au cours de ces deux années. En 1998, les rendements en grains ont progressé des doses 0 et 17.5 kg P ha⁻¹ à la dose 35 kg P ha⁻¹ tandis qu'en 2000, les rendements ont plutôt augmenté de la dose 0 kg P ha⁻¹ aux doses 17.5 et 35 kg P ha⁻¹. À court terme, soit lors des deux premières années d'implantation des parcelles, la fertilisation minérale phosphatée n'a pas eu d'impact sur les rendements en maïs-grain (Hooker et al. 1983; Guertin et al. 1997). Bien que l'effet cumulatif de ces doses apportées annuellement n'ait pas eu d'effet significatif sur les rendements en grains, l'accroissement de la dose de P a exercé des effets linéaires significatifs sur cette variable à moyen et à long terme. Dans des études menées aux États-Unis, McCollum (1991) et Schlegel et Havlin (1995) ont observé le même phénomène. Il est toutefois difficile d'expliquer pour quelles raisons les rendements observés entre 0 et 17.5 kg P ha⁻¹ n'ont pas progressé de la même manière que ceux observés de 17.5 à 35 kg P ha⁻¹ au cours des années 1994, 1996 et 1998. Selon la présente étude, les rendements ont en effet progressé avec l'augmentation de la dose de P au cours de trois des quatre dernières années en production de maïs-grain. Les arrières-effets de ce facteur n'ont toutefois pas affecté les rendements du soya.

Évolution du contenu en P du sol

L'effet de la fertilisation phosphatée sur le contenu en P disponible des 20 premiers cm du sol a été significatif au cours des trois dernières séries d'échantillonnage, soit depuis octobre 1995 (Tableau 3). La composante linéaire de l'effet du phosphore s'est avérée significative au cours de toutes les séries d'échantillonnage. D'un contenu moyen de 135 kg P ha⁻¹ en mai 1992, le contenu en P disponible a augmenté au printemps 1993 à 140 kg P ha⁻¹ pour le niveau 35 kg P ha⁻¹, est demeuré stable pour le niveau 17.5 kg P ha⁻¹ et a chuté à 130 kg P ha⁻¹ pour le niveau 0 kg P ha⁻¹ (Fig. 5). Ces résultats étaient en accord avec les objectifs énoncés dans les grilles de référence en fertilisation du Conseil des productions végétales du Québec (1996) où les applications de P devaient combler les exportations des récoltes et les autres pertes en phosphore pour un sol de teneur moyenne en P (Giroux et Tran 1994). À l'automne 1995, suite à deux récoltes de maïs-grain et une récolte de soya, les quantités de P disponibles ont chuté pour tous les niveaux de P à l'étude. Les quantités de P disponibles

des niveaux 0, 17.5 et 35 kg P ha⁻¹ ont respectivement chuté de 35, 20 et 19 kg P ha⁻¹ pour atteindre des valeurs de 94, 115 et 121 kg P ha⁻¹. De telles diminutions n'avaient pas été observées par Hooker et al. (1983) ou au par McCollum (1991) pour des conditions du centre des États-Unis. Des baisses de la concentration en P disponible du sol à moyen terme pour des niveaux 0 kg P ha⁻¹ (Hooker et al. 1983; McCollum 1991) ou des niveaux 10 ou 20 kg P ha⁻¹ (McCollum 1991) avaient été rapportées dans la littérature mais aucune baisse en P disponible ne semble avoir été relevée avec des niveaux de fertilisation en P supérieurs aux exportations des grains estimées à une vingtaine d'unités de P pour le maïs ou le soya (Conseil des productions végétales du Québec 1996). Les baisses systématiques observées pour tous les niveaux de P à l'étude de 1993 à 1995 n'ont pu être attribuées à un phénomène de lessivage (Mc Collum 1991) car les résultats des analyses de sol des horizons 20-50 et 50-90 cm n'ont indiqué aucune augmentation du P disponible pour ces horizons au cours de cette période (données non présentées). Les concentrations en P disponibles du sol ont encore fléchi entre les échantillonnages de l'automne 1995 et de l'automne 1998. Ces baisses ont été plus faibles que celles enregistrées de 1994 à 1995, mais étaient tout de même de 20, 19 et 10 kg P ha⁻¹ respectivement pour les niveaux 0, 17.5 et 35 kg P ha⁻¹. Au cours du dernier échantillonnage réalisé à l'automne 2000, les contenus en P disponible du sol ont subi une légère baisse de 4 à 5 kg P ha⁻¹ pour atteindre des niveaux de 71, 91 et 108 kg P ha⁻¹ respectivement pour les niveaux 0, 17.5 et 35 kg P ha⁻¹. Hooker et al. (1983) ont observé des valeurs similaires dans une étude réalisée au Kansas. De 1992 à 2000, les exportations totales en P des récoltes ont varié de 171 à 177 kg P ha⁻¹ comparativement à des apports cumulés

Fig. 5. Effet des doses de phosphore sur l'évolution du phosphore disponible dans le sol dans l'horizon 0-20 cm en fonction des années. Les barres verticales indiquent l'écart-type de la moyenne de chacun des échantillonnages



de 0, 105 et 210 kg P ha⁻¹ pour les niveaux 0, 17.5 et 35 kg P ha⁻¹. Les bilans minéraux à la surface ont donc été de -174, -68 et +31 kg P ha⁻¹ respectivement pour les niveaux 0, 17.5 et

35 kg P ha⁻¹. Le niveau 35 kg P ha⁻¹ aurait donc normalement dû permettre de conserver le niveau de fertilité du sol et peut-être même de l'augmenter mais un bilan excédentaire de 31 kg P ha⁻¹ ne semble pas avoir permis de rencontrer les objectifs visés dans les grilles de référence en fertilisation (Conseil des productions végétales du Québec 1996) soient de compenser les exportations et les autres pertes en P par les apports en P (Giroux et Tran 1994). Aucune fertilisation minérale phosphatée n'a été apportée au soya et ce choix méthodologique était justifié puisque cette pratique était et demeure courante chez les producteurs de grandes cultures au Québec. Les contenus en P disponible du sol ont diminué linéairement de la dose de 35 à la dose de 0 kg P ha⁻¹ dès la première année de culture de soya sans engrais. Il demeure peu probable que les baisses marquées des contenus en P disponible observées à l'automne 1995 aient été provoquées par les seules exportations des récoltes de soya de la saison 1995 car ces exportations totales en P ne représenteraient, selon le Conseil des productions végétales du Québec (1996), que de 21 à 22 kg P ha⁻¹ soit un peu plus de la moitié des baisses enregistrées du contenu en P disponible du sol entre le printemps 1994 et l'automne 1995. Les baisses marquées mesurées de 1993 à 1995 du contenu en P disponible du sol n'ont pas été observées par d'autres études qui avaient plutôt montré des baisses plus lentes de ce contenu (Hooker et al. 1983; Mallarino et al. 1991; Richards et al. 1995). Selon ces études, les sols utilisés avaient démontré de bonnes capacités à tamponner les changements du contenu en P disponible probablement grâce à la contribution de P provenant du pool de phosphore total du sol. Le sol utilisé dans cette étude ne semble pas avoir démontré au cours de la période de 1993 à 1995 ce pouvoir tampon observé dans ces autres études. La production de soya sans engrais, une pratique agricole répandue chez les producteurs de la Plaine des Basses Terres du Saint-Laurent, semble avoir causé des baisses importantes de la richesse en P disponible du sol à l'étude. Les baisses significatives de rendement en grains observées chez le maïs, mais non chez le soya, semblent aussi être liées aux baisses de la richesse en P disponible du sol. Les niveaux recommandés en P par le Conseil des productions végétales du Québec (1996) pour le type de sol utilisé lors de la présente étude n'ont pas permis de maintenir la fertilité initiale du sol. Étant donné l'absence de données provenant d'études similaires mais réalisées sous d'autres conditions expérimentales (série, texture, richesse en P disponible, séquences culturales, etc), il est encore trop tôt pour généraliser les résultats de la présente étude à d'autres sols. Des études similaires à celle-ci devront en effet être réalisées afin de vérifier les résultats observés lors de la présente étude et afin de pouvoir éventuellement émettre des recommandations qui tiendront compte de l'effet à moyen et à long terme de la fertilisation minérale phosphatée.

CONCLUSIONS

Les rendements de la régie réduite n'ont pas été différents des rendements de la régie conventionnelle à l'exception de 3 années sur 9 où les rendements avec la régie réduite étaient inférieurs aux rendements de la régie conventionnelle. Cinq

ans après l'implantation des parcelles expérimentales, la régie réduite affichait de manière quasi continue une meilleure stabilité structurale du sol que la régie conventionnelle. La fertilisation minérale azotée a permis d'augmenter les rendements en grains au cours de toutes les années expérimentales en production de maïs-grain. Bien qu'à court terme, l'apport annuel de 80 kg N ha⁻¹ sur ce type de sol ait permis d'obtenir des rendements en maïs-grain équivalents à ceux obtenus avec 160 kg N ha⁻¹, l'effet cumulatif a toutefois démontré qu'il serait préférable d'utiliser 160 kg N ha⁻¹ contrairement à 80 kg N ha⁻¹ afin d'obtenir de meilleurs rendements à moyen et à long terme. Les rendements ont progressé avec l'augmentation de la dose de P au cours de trois des quatre dernières années en production de maïs-grain. Les arrières-effets des fertilisations azotée et phosphatée n'ont toutefois pas affecté les rendements du soya. La production de soya sans engrais, une pratique agricole répandue chez les producteurs de la Plaine des Basses Terres du Saint-Laurent, pourrait avoir été la cause des baisses importantes de la richesse en P disponible du sol à l'étude. Les recommandations en fertilisation phosphatée des grilles du Conseil des productions végétales du Québec (1996) semblent toutefois insuffisantes à maintenir la fertilité initiale du sol à l'étude et semblent même entraîner des baisses de la richesse en P disponible.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Agriculture et Agroalimentaire Canada et la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec pour leurs contributions financières à cette étude. Les auteurs tiennent aussi à remercier les ouvriers, les techniciens et les étudiants du CÉROM qui ont contribué à la réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- Angers, D.A. et Mehuys, G.R. 1988. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 68 :723-732.
- Bharati, M.P., Wigham, D.K. et Voss, R.D. 1986. Soybean response to tillage and nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *Agron. J.* 78 :947-950.
- Blackmer, A.M. 1997. What about yield goals ? Integrated crop management. January 2, 1997 issue, Iowa State University. p.82-83.
- Conseil des productions végétales du Québec. 1996. Grilles de référence en fertilisation. 2^e édition. 128 p.
- Conseil des productions végétales du Québec. 1990. Soya : culture, Agdex 141/20. 47 p.
- Côté, D. 1988. Soil structure and related properties of a silt loam cropped for nine consecutive years with silage corn under reduced and conventional tillage. *Proc. 11th Conf. Int. Soil Tillage Res. Org., Edinburgh* 1 : 37-42.
- DeMooy, C.J., Young, J.L. et Kaap, J.K. 1973. Comparative response of soybeans and corn to phosphorus and potassium. *Agron. J.* 65 :851-855.
- Ellsworth, T.R., Clapp, C.E. et Blake, G.R. 1991. Temporal variations in soil structural properties under corn and soybean cropping.

Soil Sci. 151(6) :405-416.

Fahad, A.A., Mielke, L.N., Flowerday, A.D. et Swartzendruber, D. 1982. Soil physical properties as affected by soybean and other cropping sequences. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46 :377-381.

Giroux, M. et Tran, T.S. 1994. Étude des facteurs affectant l'évolution des teneurs en P et K des sols agricoles. *Agrosol* 7(2) :23-30.

Guertin, S.P., Barnett, G.M., Pesant, A., Parent, L.E., Giroux, M. et Mackenzie, A.F. 1997. Évaluation des besoins N, P, K dans la culture du maïs selon les caractéristiques du sol et des systèmes culturaux. Rapport final. Entente auxiliaire Canada-Québec. 139 p.

Hooker, M.L., Gwin, R.E., Herron, G.M. et Gallagher, P. 1983. Effects of long-term, annual applications of N and P on corn grain yields and soil chemical properties. *Agron. J.* 75 :94-100.

Kladivko, E.J., Griffith, D.R. et Mannerling, J.V. 1986. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soya beans in Indiana. *Soil and Tillage Research.* 8 :277-287.

Magdoff, F.R. et Amadon, J.F. 1980. Yield trends and soil chemical changes resulting from N and manure application to continuous corn. *Agron. J.* 72 :161-164.

Mallarino, A.P., Webb, J.R. et Blackmer, A.M. 1991. Corn and soybean yields during 11 years of phosphorus and potassium fertilization on a high-testing soil. *J. Prod. Agric.* 4(3): 312-317.

McCullum, R.E. 1991. Buildup and decline in soil phosphorus : 30-year trends on a typic Umprabult. *Agron. J.* 83 :77-85.

Motavalli, P.P., Bundy, L.G., Andraski, T.W. et Peterson, A.E. 1992. Residual effects of long-term nitrogen fertilization on nitrogen availability to corn. *J. Prod. Agric.* 5(3): 363-368.

Richards, J.E., Bates, T.E. et Sheppard, S.C. 1995. Changes in the forms and distribution of soil phosphorus due to long-term corn production. *Can. J. Soil Sci.* 75 :311-318.

SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT guide for personal computer. Version 6 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Schlegel, A.J. et Havlin, J.L. 1995. Corn response to long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *J. Prod. Agric.* 8 :181-185.

Sharpe, R.R., Boswell, F.C. et Hargrove, W.L. 1986. Phosphorus fertilization and tillage effect on dinitrogen fixation in soybeans. *Plant and Soil.* 96 :31-44.

Tran, T.S. et Simard, R.R. 1993. Mehlich 3-extractable elements. Pages 43-49 (chapitre 3) dans M.R. Carter (éd.). *Soil sampling and methods of analysis.* Société canadienne de la science du sol. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 823 p.

Tran, T.S. Giroux, M. et Cescas, M.P. 1997. Utilisation de l'engrais azoté marqué au ¹⁵N par le maïs selon les modes d'application et les doses d'azote. *Can. J. Soil Sci.* 77 :9-19.

Tremblay, G. et Beausoleil, J.M. 2000. Réponse du soya à la fertilisation minérale en éléments majeurs NPK sur des sols classés de riches à excessivement riches en phosphore ou en potassium des Basses Terres du Saint-Laurent. *Can. J. Plant. Sci.* 80:261-270.

Vyn, T.J. et Raimbault, B.A. 1993. Long-term effect of five systems on corn response and soil structure. *Agron. J.* 85 :1074-1079.

Weill, A.N., McKyes, E. et Mehuys, G.R. 1989. Agronomic and economic feasibility of growing corn (*Zea mays* L.) with different levels of tillage and dairy manure in Quebec. *Soil and Tillage Research.* 14 :311-325.

Youker, R.E. et McGuinness, J.L. 1956. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. *Soil Sci.* 83 :291-294.

Tableau 1. Sommaire des données climatiques de 1992 à 2000

	Précipitations (mm)									
	1992 ²	1993	1994 ³	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Moyenne
Mai	54.4	111.3	102.7	62.5	97.3	67.1	36.5	42.8	115.8	76.7
Juin	54.6	99.7	146.6	51.0	120.8	65.5	197.2	65.7	71.5	97.0
Juillet	137.7	110.1	102.0	159.2	116.8	116.6	140.5	156.4	62.4	122.4
Août	72.8	88.4	93.2	97.4	69.1	107.5	103.7	59.7	150.1	93.5
Septembre	92.8	125.0	44.0	77.2	76.2	104.8	64.5	192.8	133.5	101.2
Octobre	70.4	137.8	41.0	185.9	99.2	55.2	64.8	121.0	80.2	95.1
Saison	482.7	672.3	529.5	633.2	579.4	516.7	607.2	638.4	613.5	585.9
Unités thermiques maïs (UTM)										
Mai	326	258	266	325	283	232	422	361	287	307
Juin	630	620	712	737	707	723	690	761	622	689
Juillet	688	792	832	835	803	767	785	832	761	788
Août	725	756	668	771	758	695	763	727	743	734
Septembre	514	446	502	443	565	485	557	621	468	511
Octobre	0	0	89	327	34	194	24	31	139	93
Saison	2883	2872	3069	3438	3150	3096	3241	3333	3020	3122

² Les données de 1992 et 1993 proviennent de la station de Marieville.

³ Les données de 1994 à 2000 proviennent de la station de L'Acadie.

Tableau 2. Sommaire de l'analyse de variance (moyenne des carrés des écarts) de l'effet de la fertilisation minérale NP et de la régie culturale sur le rendement en grains

		Moyenne des carrés des écarts (MCE) du rendement en grains								
Culture ^z	d.l.	M	M	M	S	M	S	M	S	M
		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
		(x1000)	(x1000)	(x1000)	(x1000)	(x1000)	(x1000)	(x1000)	(x1000)	(x1000)
Régie (R)	1	1721	9463 **	399	2113*	8915	10080	741	92737	30492*
Erreur a	3	4795	118	189	78	1652	1302	4226	94398	1270
Azote (N)	2	3162**	46175 **	68978**	14	46021**	195	87902**	3315	48151**
N _L ^y	1	4539**	69969 **	30312**	4	83643**	159	161535**	4294	85961**
N _Q ^x	1	1785*	20819 **	107191**	24	8399**	230	14269**	2336	10341**
Phosphore (P)	2	72	139	948	31	315	27	942	45328	867
P _L ^w	1	42	284	1689*	61	549	0	1544	73320	1729
P _Q ^v	1	102	8	130	1	81	54	341	17336	4
R x N	2	104	88	364	2	80	390	1018	48751	45
R x P	2	314	177	323	26	6	12	961	71352	340
R x N x P	4	145	124	162	2	255	47	514	53421	48
N x P	4	119	161	802	2	240	90	334	96057	197
Erreur b	48	344	171	319	796	363	68	430	55695	479
R ² (%)		71.6	93.6	91.4	85.1	87.0	84.5	91.1	53.2	87.1
C.V. (%)		7.3	6.7	9.5	3.8	11.0	9.3	9.6	8.4	12.7
Moyenne (kg ha ⁻¹)		8053	6163	5933	3418	5498	2816	6818	2814	5450

^z M= maïs-grain; S= soya..

^w Effet linéaire du phosphore.

^y Effet linéaire de l'azote.

^v Effet quadratique du phosphore.

^x Effet quadratique de l'azote.

*,** Significatifs aux seuils 0.05 et 0.01, respectivement.

Tableau 3. Sommaire de l'analyse de variance (moyenne des carrés des écarts) de l'effet de la régie culturale et de la fertilisation minérale NP sur l'évolution du phosphore disponible dans les 20 premiers cm de sol

		Moyenne des carrés des écarts (MCE)			
Régie	d.l.	Mai	Oct.	Oct.	Oct.
		Régie (R)	1	60.5	0.0
Erreur a	3	1915.9	1079.4	4401.8	390.7
Azote (N)	2	25.4	390.1	42.1	1820.2
N _L ^z	1	4.1	499.1	36.4	582.4
N _Q ^y	1	46.7	280.3	47.8	3058.1
Phosphore (P)	2	805.4	4712.2	8190.6	8210.1
P _L ^x	1	1610.1	8472.1	16159.0	16365.2
P _Q ^w	1	0.7	952.2	222.2	55.1
R x N	2	423.2	171.8	237.0	599.1
R x P	2	1434.5	115.2	841.2	134.5
R x N x P	4	269.2	402.7	307.1	238.2
N x P	4	603.8	197.3	458.6	643.7
Erreur b	48	261.1	410.1	368.7	426.9
R ² (%)		77.3	69.3	76.8	68.8
C.V. (%)		12.0	18.4	20.4	23.0
Moyenne (kg ha ⁻¹)		134.6	94.7	94.0	89.7

^z Effet linéaire de l'azote.

^y Effet quadratique de l'azote.

^x Effet linéaire du phosphore.

^w Effet quadratique du phosphore.

*,** Significatifs aux seuils 0.05 et 0.01, respectivement.

2003-02-27

Le Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc. a pour mission de faire de la recherche d'intérêt public et collectif pour le développement du secteur de la production de grains. Le Centre de recherche sur les grains inc. a été créé à l'initiative du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec auquel se sont associées la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec et la Coopérative fédérée de Québec dans le financement et la gestion de la recherche du CÉROM.

335 Chemin des Vingt-cinq Est
Saint-Bruno de Montarville (Québec)
Canada J3V 4P6

Tél. : 450 653-4413
Fax. : 450 441-5694

www.cerom.qc.ca