

**EFFETS DES APPORTS D'ENGRAIS MINÉRAUX PHOSPHATÉS
DANS LES DÉMARREURS À MAÏS-GRAIN EN COMPLÉMENT
DES APPORTS DE PHOSPHORE PROVENANT DES ENGRAIS
DE FERME SELON LA SATURATION EN PHOSPHORE DES SOLS**



PHOSPHORE ZÉRO:
RÉSULTATS D'ESSAIS DES
DÉMARREURS PHOSPHORE

CONTEXTE

Plusieurs entreprises agricoles valorisent les engrais organiques sur les champs en production de maïs-grain. Des quantités appréciables de phosphore sont ainsi disposées sur les terres agricoles et il en résulte un enrichissement des sols en phosphore lorsque l'azote sert de base aux recommandations. Pour limiter l'enrichissement excessif des sols, les abaques du Règlement sur les exploitations agricoles (REA) prescrivent les quantités maximales de dépôt de phosphore, de toutes sources, qu'une entreprise agricole peut disposer sur ses terres. Ces quantités sont basées sur une approche de bilan phosphore et considèrent la richesse du sol en phosphore ainsi que son potentiel de rendement. Dans la plupart des cas les dépôts de phosphore autorisés sont supérieurs aux recommandations de phosphore minéral proposées comme application en bande près de la semence du guide de référence en fertilisation du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).

Ces grilles de fertilisation sont principalement basées sur la probabilité de réponse en rendement de la culture.

Une des questions qui interpelle le monde agricole, qui est soucieux de maintenir sa productivité, est de savoir si les recommandations de phosphore minéral dans les engrais de démarrage à maïs-grain doivent être maintenues lorsque du phosphore provenant des engrais organiques est appliqué. L'élimination du phosphore des démarreurs permettrait la valorisation de doses accrues d'engrais de ferme réduisant ainsi le surplus des entreprises agricoles.

Ce feuillet brosse un portrait de l'efficacité du phosphore contenu dans les sols et fait état des résultats d'essais de différents engrais de démarrage, avec et sans phosphore minéral, évalués dans la culture du maïs-grain. Ces essais ont été conduits dans la grande plaine de Montréal au cours des années 1997 à 2002 sur des sols recevant régulièrement des apports d'engrais organiques.

LE PHOSPHORE DANS LE SOL

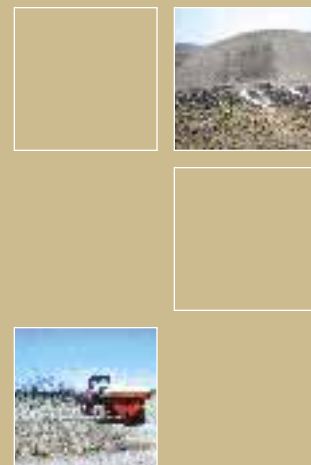
Le phosphore est présent dans les sols à la fois sous formes organique et minérale. Les formes minérales existent sous une grande diversité. On estime que la proportion de ces formes minérales varient de 20 à 80% dans les sols. Au Québec, on évalue à plus de 1000 kg/ha les différentes formes de phosphore minéral peu disponibles pour les cultures par rapport à quelques centaines de kg/ha pour le phosphore organique. Les évaluations du phosphore disponible fournies par les résultats d'analyses de sol représentent la fraction des formes minérales facilement accessibles aux plantes.

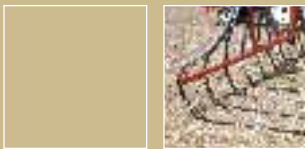
Le phosphore organique existe également sous une très grande diversité de formes dans les sols. Cette proportion organique est dépendante des facteurs de genèse des sols

(texture de sol, drainage, position topographique et climat), ainsi que des pratiques de gestion du sol comme l'apport de fumier, le chaulage, le travail du sol et le type de successions culturales.

Le phosphore inclus dans les microorganismes du sol est la forme principale de phosphore organique en ce qui a trait à l'alimentation des plantes. Elle représente de 30 à 50% de tout le phosphore organique des sols. C'est également une forme de phosphore très dynamique. Il faut regarder cette contribution du P organique à l'alimentation des végétaux comme étant significative. Elle est reliée à la teneur en phosphore organique total des sols et est en lien direct avec l'activité biologique du sol.

Nos méthodes d'analyse de sol par Mehlich 3 ne permettent pas d'évaluer la contribution en phosphore organique des sols car elles n'extraient que le phosphore minéral disponible et une très petite fraction du P organique.





LES RÉACTIONS DU PHOSPHORE DANS LE SOL¹

Le phosphore élémentaire est très réactif chimiquement et il ne se retrouve pas à l'état pur dans la nature. Il est toujours en combinaison avec d'autres éléments. La plupart de ces composés ne sont pas disponibles pour les plantes puisqu'ils sont insolubles.

Le phosphore minéral

Lorsque les engrais minéraux sont ajoutés au sol, ils se dissolvent rapidement et réagissent avec le calcium (sols à pH > 5,3) et les hydroxydes de fer et d'aluminium (sols à pH < à 5,3) et sont précipités pour former des composés peu solubles. En fait, le taux de réaction ou de rétrogradation varie selon le pH et la teneur en aluminium (Al), fer (Fe) et calcium (Ca) des sols. Les microorganismes jouent également un rôle important dans ces réactions. De plus, la vitesse de réaction du phosphore minéral est très liée à la capacité de fixation en phosphore des sols. Cette propriété est évaluée par la teneur en Al contenu dans le sol selon la méthode de Mehlich 3 utilisée dans nos laboratoires d'analyse du sol. Plus les niveaux d'Al sont élevés pour un même niveau de phosphore, moins ce dernier est disponible pour les cultures.

Réaction d'un granule de phosphore d'engrais minéral avec le sol:

- 1^{re} dissolution du granule d'engrais;
- 2^e liaison du P avec d'autres éléments minéraux en solution et formation d'un complexe à la surface des particules solides de la matrice du sol;
- 3^e dissolution des minéraux argileux, ce qui accroît la concentration des métaux pouvant réagir avec le phosphore en solution du sol;
- 4^e désorption lente des composés phosphatés à la surface de la phase solide dans la solution du sol;
- 5^e diffusion lente à l'intérieur des agrégats de sol et réorganisation en des formes minérales peu solubles.

Source: D^r Régis Simard

Le phosphore organique

Le phosphore organique réagit beaucoup moins avec le sol et est beaucoup plus mobile dans les sols que le phosphore minéral.

Lorsque les engrais organiques sont ajoutés au sol, ils sont rapidement minéralisés. Le phosphore s'accumule principalement sous formes minérales échangeables et sous formes minérales et organiques liées aux oxyhydroxydes d'Al et de Fe ou sous d'autres formes minérales adsorbées aux particules de sol. Une partie sera réorganisée dans la biomasse microbienne et une autre dans les humus. La réactivité du phosphore des engrais de ferme avec le sol est différente de celle des engrais minéraux. La présence de composés organiques empêche les minéraux du sol de réagir avec le phosphore des engrais organiques. Il en résulte une plus grande disponibilité pour les cultures.

La microflore du sol joue également un rôle important dans la réaction des engrais organiques. En effet, une grande partie de la fraction minérale du phosphore des engrais organiques peut être absorbée par cette microflore à partir de la solution du sol. Ce phosphore sera réorganisé momentanément par les microorganismes et relâché plus tard en saison de croissance. Ainsi, un sol qui a une activité microbienne intense, générée soit par l'ajout de matière organique fraîche tels les résidus de culture, soit par les engrais organiques, permettra d'entreposer le phosphore sous des formes à libération lente. Le D^r Régis Simard a observé, à l'aide de bandes de résines d'échange « in situ », que l'alimentation des plantes en phosphore était plus élevée suite à une application de lisier qu'avec une fertilisation seulement minérale. Ces observations couvraient une période de 90 jours suivant le semis du maïs. De plus, cette efficacité du phosphore de source organique persistait plus longtemps dans le sol par rapport au phosphore des engrais minéraux.

¹ SIMARD, Régis. *Journée du Salon de l'Agriculteur, Bien nourrir le sol c'est mieux gérer le phosphore*, Saint-Hyacinthe, Association des fabricants d'engrais du Québec, 13 janvier 1998 p. 4-1 à 4-8.

Lorsque les engrais organiques sont ajoutés en même temps que les engrais minéraux, le phosphore organique et les autres composés organiques présents dans les fumiers ou lisiers réduisent le phénomène de fixation du P

par les oxydes de fer et d'aluminium. Cette synergie augmente l'efficacité du phosphore minéral ajouté. Les deux sources d'éléments nutritifs ont donc entre eux un effet multiplicateur plutôt que simplement additif.

LES ESSAIS DE FERTILISATION DE 1997 À 2002

Le phosphore est l'un des trois éléments majeurs de la fertilisation des cultures et il est indispensable à la croissance des plantes. Il est reconnu comme l'élément clé du développement racinaire des cultures et de leur croissance en début de cycle. Le positionnement des démarreurs industriels est le facteur clé de l'efficacité du phosphore pour assurer un bon démar-

La proportion de phosphore minéral et organique varie selon les sources d'engrais organiques utilisées. Des évaluations sur des engrais organiques frais réalisées par le D^r G. Barnett ont donné :

55% de P minéral pour un lisier de porcs,
34% pour un fumier de volailles et
63% pour un fumier de bovins.

rage des plantules de maïs-grain. Les guides de fertilisation recommandent d'appliquer le démarreur en bande près de la semence au moment des semis pour optimiser son efficacité. Bien que l'on retrouve dans les

engrais organiques une fraction importante du phosphore sous forme minérale, son efficacité à assurer la croissance des plants de maïs tôt en saison est surpassée par le positionnement

stratégique du phosphore des démarreurs liquides ou granulaires. Cette efficacité est toutefois liée à la richesse du sol en phosphore. Plus un sol est riche, moins l'efficacité des engrais de démarrage est apparente. Pour permettre l'élimination du phosphore des démarreurs à maïs, il faut connaître à quels niveaux de richesse du sol les démarreurs phosphatés perdent leur avantage stratégique.

Deux catégories d'essais :

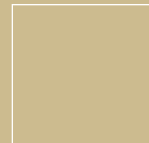
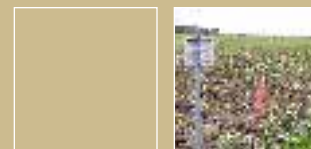
1 - à la ferme, et

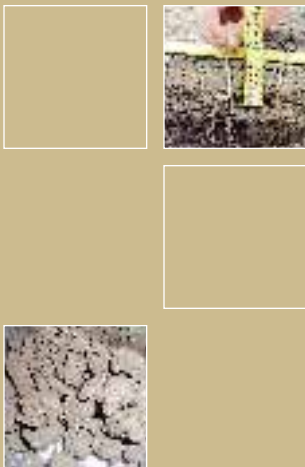
2 - en parcelles expérimentales

1- Essais à la ferme

Les essais consistent essentiellement à comparer dans un même champ deux démarreurs différents : un contenant du phosphore minéral et l'autre sans phosphore. La formule sans phosphore, personnalisée à chaque producteur, était fabriquée à l'entrepôt du Centre de recherche sur les grains à Saint-Bruno (CÉROM). Chaque producteur a comparé son propre démarreur contenant du phosphore avec une formulation de démarreur semblable en azote et en potassium dont nous avons remplacé le phosphore par du remplissage inerte. Les applications d'azote étaient toujours ajoutées selon les besoins de la culture en complémentarité avec la valorisation de

l'azote provenant des engrais organiques. Chacune des parcelles devait avoir une surface minimale de récolte d'environ 2000 m², soit 1/5 d'hectare (1/2 âcre). La validation des résultats de chaque site de comparaison était supervisée par un conseiller spécialiste en fertilisation qui s'assurait du suivi des essais et acheminait les résultats à Saint-Bruno pour la compilation. À ce jour, plus de 187 sites de comparaison à la ferme ont été réalisés et validés. Une bonne répartition régionale nous a permis de couvrir l'ensemble des textures de sol. Ainsi les territoires soutenant de fortes densités animales sont largement représentés.





Les textures de sols pour les essais réalisés à la ferme sont pour la plupart comprises dans la fourchette des loam-limono-argileux à loam sableux (Figure 1). Plusieurs types de fumiers ou lisiers font également partie des essais ainsi que différents modes d'épandage sur différents précédents culturaux et travaux de sol (Figures 2,3,4,5).

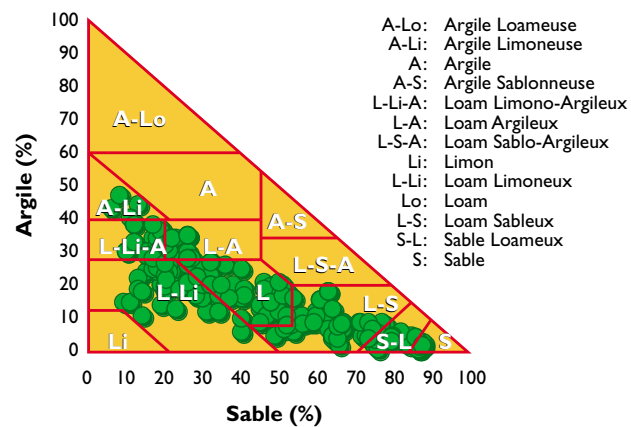


Figure 1 : Textures des sols pour 187 sites d'essais à la ferme

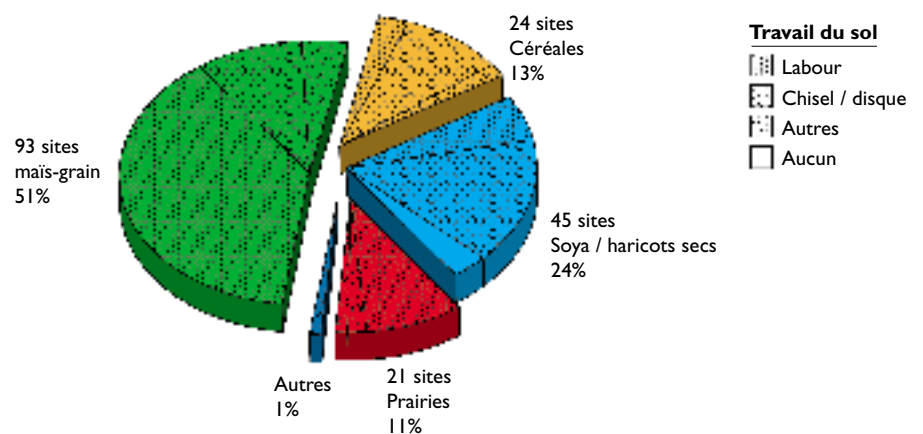


Figure 2: Types de travaux primaires d'automne effectués sur les différentes cultures précédentes pour les essais à la ferme

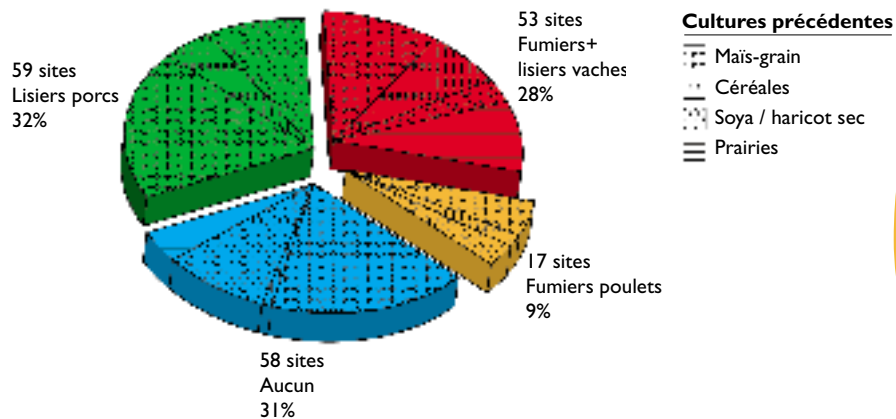


Figure 3: Types d'engrais organiques et leurs précédents culturaux

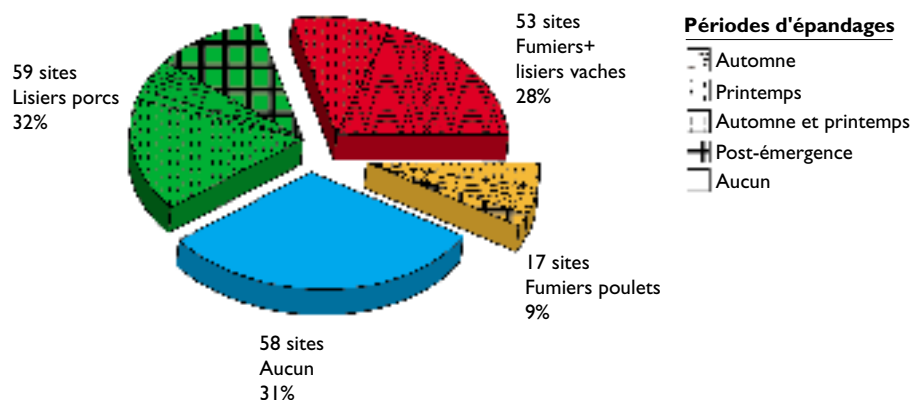


Figure 4: Types d'engrais organiques et leurs périodes d'épandage

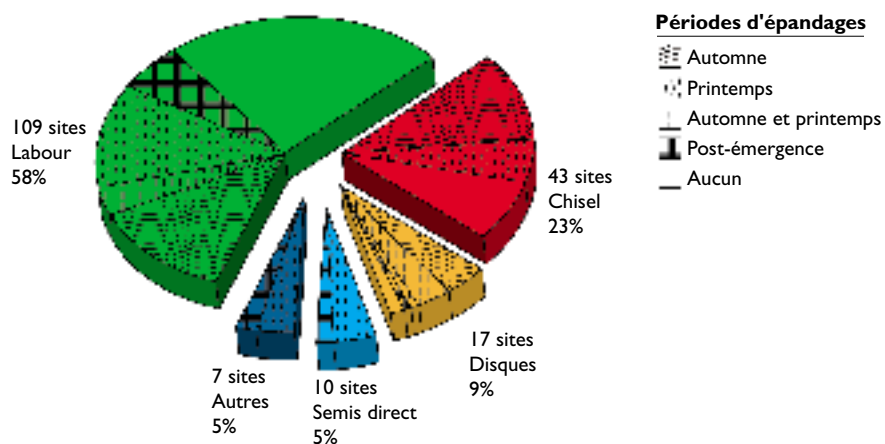
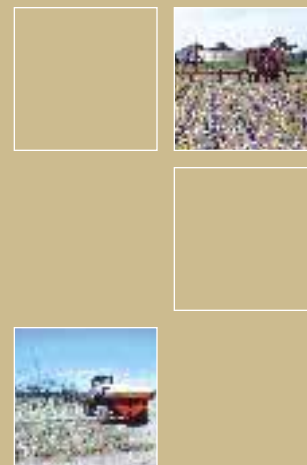


Figure 5: Différentes périodes d'épandage des engrais organiques selon le travail primaire du sol





2- Essais en parcelles expérimentales

Après la troisième année de compilation des résultats des suivis à la ferme, des essais en parcelles expérimentales sur des sols riches ont permis de compléter et de valider les résultats. Avec la collaboration de Monsieur Gilles Tremblay du CÉROM, huit essais comprenant six doses de phosphore au démarrage ont été réalisés en 2001 et 2002 selon un dispositif en blocs complets aléatoires comprenant trois répétitions (Tableaux 1 et 2). Chacune des 18 parcelles de chaque site avait une superficie de plus de 300 m².

Tableau 1 : Six différents démarreurs ont été comparés

	Traitements	Azote granulaire (kg/ha)	Azote liquide (kg/ha)	Phosphore granulaire ² (kg/ha)	Phosphore liquide (kg/ha)	Potassium granulaire (kg/ha)	Potassium liquide (kg/ha)
1	0	50	0	0	0	4	0
2	15 (L) ¹	46	4	0	15	0	4
3	30	50	0	30	0	4	0
4	30 (L)	46	4	15	15	0	4
5	90	50	0	0	90	4	0
6	90 (L)	46	4	75	15	0	4

1. Application d'engrais liquide 6-24-6 directement sur la semence à une dose de 38 litres/hectare.

2. Phosphate biammoniacal (DAP) est l'engrais de base utilisé.

Tableau 2: Caractéristiques des sites des parcelles expérimentales

Saturation du sol en P (%)	pH	Date semis	Texture du sol	Culture précédente	Travail primaire du sol à l'automne	Engrais organique	Municipalité
8	6,8	23-mai-02	L-Li	Mais-grain	Labour	Lisier poules; 1/3 ans	St-Césaire
10	6,1	4-mai-01	L	Mais-grain	Labour	Lisier poules; 1/3 ans	St-Césaire
13	6,0	30-avr-01	L	Soya	Chisel	aucun	St-Césaire
15	6,7	4-mai-01	L	Orge + E.V.	Chisel	Lisier vaches; automne	St-Césaire
16	6,4	7-mai-01	S	Soya	Herse à disques	Lisier porcs; automne	Acton
23	6,2	26-avr-02	S-L	Mais-grain	Labour	Lisier porcs; printemps	St-Césaire
31 ¹	6,1	28-mai-02	L	Mais-grain	Labour	Lisier porcs; printemps	L'Assomption
>50	5,2	4-mai-02	L-S	Mais-grain	Labour	Lisier porcs; printemps	St-Alphonse

1. Tous les sites, (sauf un; celui avec la saturation en P de 31 %), ont été semés avec l'hybride de maïs de Pioneer 38G17, 2700 UTM.

LES RÉSULTATS D'ESSAIS

Le démarrage de la culture

Essais à la ferme

Dans la très grande majorité des cas, indépendamment de la richesse du sol, l'ajout du phosphore dans les démarreurs a favorisé l'accumulation de matière sèche des plantules de maïs évaluée au stade de croissance d'environ 7 feuilles. Cette augmentation de la biomasse est plus prononcée sur des sols de classes

pauvres à moyens ayant une saturation en phosphore inférieure à 4%. Sur ces sols, la biomasse augmente en moyenne de plus de 30% lorsque du phosphore est appliqué comme démarreur (Tableau 3). La valeur de cette augmentation diminue au fur et à mesure que la richesse des sols augmente (Figure 6).

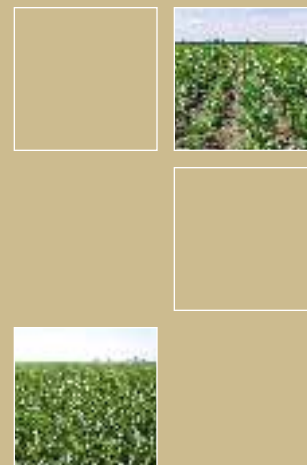
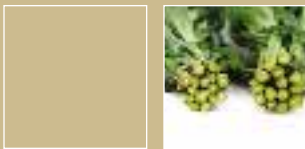


Tableau 3: Réponse de la culture de maïs-grain à une application de phosphore dans les engrais de démarrage pour les comparaisons réalisées à la ferme.

	SATURATION DU SOL EN PHOSPHORE (%)												MOYENNE TOUS LES SOLS		
	< 4			4 à 7,6			>7,6 à 15			>15					
	Nombre de sites évalués	% des sites ayant une réponse positive au phosphore	Variation moyenne pour tous les sites évalués	Nombre de sites évalués pour ce paramètre	% des sites ayant une réponse positive au phosphore	Variation moyenne pour tous les sites évalués	Nombre de sites évalués pour ce paramètre	% des sites ayant une réponse positive au phosphore	Variation moyenne pour tous les sites évalués	Nombre de sites évalués pour ce paramètre	% des sites ayant une réponse positive au phosphore	Variation moyenne pour tous les sites évalués	Nombre de sites évalués pour ce paramètre	% des sites ayant une réponse positive au phosphore	Variation moyenne pour tous les sites évalués
RENDEMENTS															
Avec engrais organiques	12	8%	1%	20	50%	2%	48	13%	-1%	48	13%	0%	127	18%	0%
Sans engrais organique	8	63%	9%	14	43%	2%	20	20%	0%	16	19%	1%	58	31%	2%
Tous	20	30%	3%	34	47%	2%	68	15%	0%	64	14%	0%	185	22%	1%
BIOMASSES															
Avec engrais organiques	11	64%	30%	19	79%	15%	43	65%	7%	42	76%	7%	114	71%	9%
Sans engrais organique	7	100%	35%	11	73%	21%	18	83%	25%	16	63%	6%	52	77%	19%
Tous	18	78%	32%	30	77%	17%	61	70%	13%	58	72%	7%	166	73%	12%
HUMIDITÉS			(%)			(%)			(%)			(%)			(%)
Avec engrais organiques	10	80%	-0,2	20	65%	-0,4	45	49%	0,0	42	60%	-0,2	116	58%	-0,2
Sans engrais organique	8	75%	-0,7	13	85%	-0,4	19	68%	-0,4	15	60%	-0,3	55	71%	-0,4
Tous	18	78%	-0,4	33	73%	-0,4	64	55%	-0,1	57	60%	-0,2	171	62%	-0,2
POIDS SPÉCIFIQUES			(kg/hl)			(kg/hl)			(kg/hl)			(kg/hl)			(kg/hl)
Avec engrais organiques	10	60%	0,7	18	67%	0,4	39	59%	0,3	41	59%	0,3	107	60%	0,3
Sans engrais organique	7	86%	1,3	11	45%	0,0	18	72%	0,2	14	57%	0,4	50	64%	0,4
Tous	17	71%	0,9	29	59%	0,3	57	63%	0,3	55	58%	0,3	157	61%	0,3



Elle diminue plus rapidement lorsque des engrais organiques sont appliqués et valorisés durant l'année des essais (Tableau 3). Le phosphore des engrais organiques compense en partie l'absence de phosphore minéral des démarreurs. Au-delà des niveaux de saturation d'environ 15%, l'absence de phosphore dans le démarreur n'est plus perceptible. À ces niveaux de richesse le sol fournit tout le phosphore nécessaire pour assurer un excellent démarrage de la culture de maïs. Il n'y a également plus de différence entre les sols ayant reçu ou pas d'applications d'engrais organiques (Tableau 3).

Essais en parcelles expérimentales

Tel qu'observé pour les essais à la ferme, les essais en parcelles expérimentales démontrent une augmentation de la biomasse suite à l'ajout de phosphore minéral dans les démarreurs. Quatre des six sites ayant eu des évaluations de la biomasse des plantules ont répondu positivement aux différents démarreurs comparés (Figure 7). L'effet démarreur est également plus marqué pour les sols dont la saturation en phosphore est inférieure ou égale à 16%. Pour ces niveaux de richesse de sol, l'augmentation de la biomasse en réponse à l'application de phosphore sous forme liquide se démarque clairement. Par contre, pour les sols plus riches que 16%, l'ajout du phosphore liquide ou granulaire dans les démarreurs n'a pas produit un effet de démarrage important.

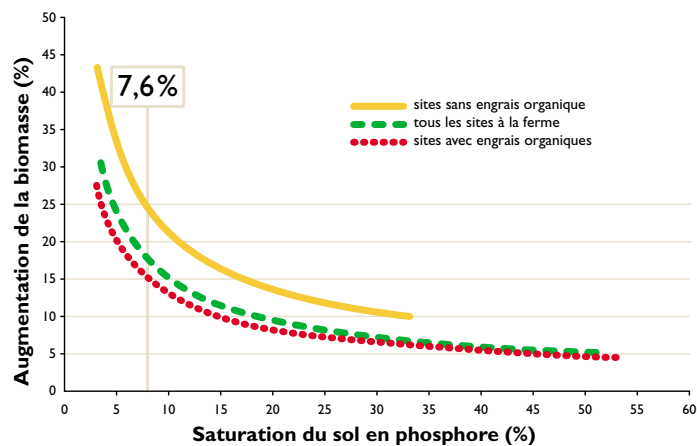


Figure 6: Augmentation de la biomasse des plantules à la 7^e feuille du maïs-grain suite à l'ajout de phosphore dans le démarreur des essais à la ferme

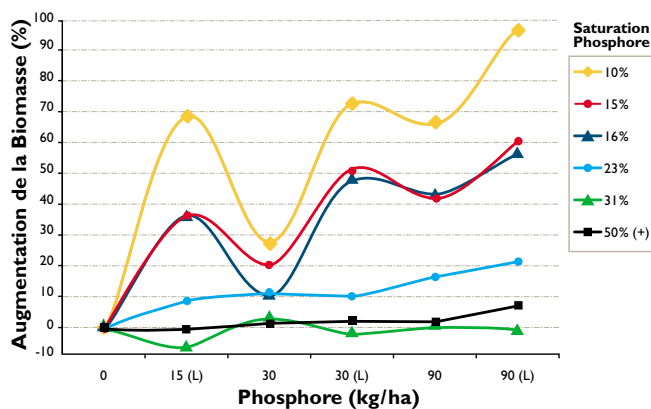


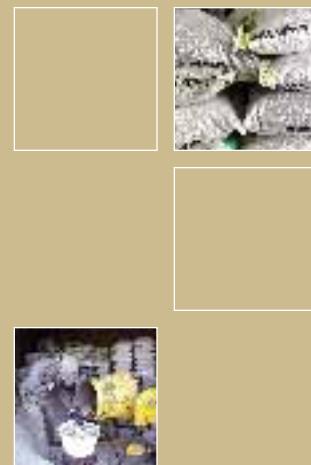
Figure 7: Biomasses relatives des plantules pour les essais en parcelles expérimentales

Du phosphore liquide ou granulaire?

En 2001, le positionnement stratégique du phosphore des démarreurs liquides directement sur la semence a produit un meilleur effet de démarrage comparativement à toutes autres quantités de phosphore appliquées sous forme granulaire (Figure 8). Pour chacun des trois essais en parcelles expérimentales de 2001, 90 kg/ha de phosphore granulaire ont été nécessaires pour atteindre les performances de croissance des plantules obtenues avec seulement 15 kg/ha de phosphore liquide. En 2002, les démarreurs liquides ne se sont pas démarqués par rapport aux démarreurs granulaires. Deux raisons semblent en indiquer la cause. Un printemps plus frais et plus humide, tel que celui rencontré en 2002, peut avoir contrecarré les performances du phosphore liquide. Un délai très long entre les semis et le début de la croissance aurait permis au sol soit de fixer une bonne partie du phosphore liquide ou soit de le diluer. Il se pourrait également que la richesse du sol soit le facteur important en cause dans ce manque de réponse en 2002, ce qui appuierait les résultats des essais à la ferme. Pour les sols très riches, il n'y a plus d'augmentation visible de la biomasse des plantules de maïs.

Le phosphore liquide est connu pour son effet démarreur. Toutefois les faibles doses permises sont insuffisantes pour fournir tous les besoins de la culture sur des sols pauvres.

Le phosphore liquide est tout à fait indiqué pour des sols déjà riches. Ainsi, on évite d'enrichir le sol tout en maintenant un effet de démarrage sur les plantules lors des premières semaines de croissance.



BIOMASSE À 7 FEUILLES (g/plant)

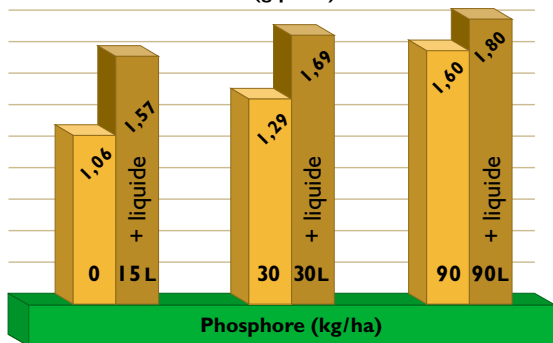
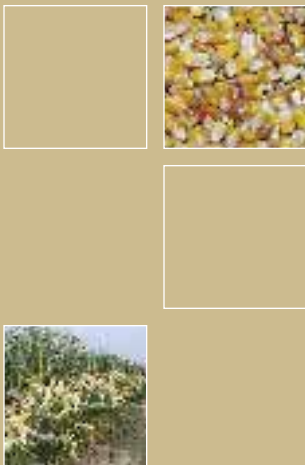


Figure 8: Biomasses moyennes des parcelles expérimentales de 2001



Le rendement en grain

Essais à la ferme

Il y a très rarement une augmentation de rendement en grain à la suite de l'ajout de phosphore minéral dans les démarreurs pour les sols qui ont été évalués. Comme expliqué précédemment, il est reconnu que la disponibilité du phosphore de sources organiques persiste davantage dans les sols que le phosphore provenant des engrais minéraux. Conséquemment, lorsque des engrais organiques sont appliqués, l'augmentation de rendement à la suite de l'ajout de phosphore dans le démarreur est moins fréquente et est plus faible. (Figure 9). L'augmentation de rendement est plus souvent rencontrée sur les sols n'ayant reçu aucun engrais organique et dont la saturation en phosphore est inférieure à 7,6% (Tableau 3).

Lorsque les niveaux de saturation en phosphore sont supérieurs ou égaux à 15%, moins de 19% des sites obtiennent un meilleur rendement en grain (Tableau 3). Si l'on considère les coûts d'achat du phosphore minéral, encore moins de sites conservent un gain positif et ne dégagent qu'une faible marge brute d'environ 30 \$/ha. Nous pouvons observer, sur ces sites très riches, que très souvent d'autres facteurs plus importants que le phosphore minéral du démarreur sont la cause de ces faibles augmentations de rendement. La réponse à la fertilisation est souvent attribuable à la mauvaise qualité du sol. La compaction ou le mauvais drainage sont parmi les principaux facteurs qui freinent le développement racinaire et limitent l'absorption du phosphore contenu dans le sol. Dans ces conditions

difficiles, l'engrais placé en bande près de la semence accélère le développement des premiers stades de croissance du maïs-grain et lui procure une avance qui se traduit par de meilleurs rendements. Cette bande d'engrais favorise également certains hybrides dont le développement du système racinaire en début de saison est moins efficace.

Aucune tendance claire ne se dégage en regroupant les résultats selon les mêmes textures de sol, travail du sol ou selon les mêmes précédents culturaux, pas plus qu'en les regroupant selon les différents types d'engrais organiques, doses appliquées ou périodes d'épandage. Les différentes dates de semis n'ont pas non plus révélé de lien avec une quelconque réponse de la culture, pas plus que les différents hybrides cultivés. Les différences extrêmes rencontrées entre les saisons, celle de 1998 exceptionnellement chaude et celle de 2000 exceptionnellement pluvieuse avec peu d'ensoleillement par exemple, ont eu un impact important sur les niveaux de rendements obtenus, mais peu d'impact en regard des applications de phosphore minéral. Ces impacts ont été plus marqués en sols pauvres qu'en sols riches ou excessivement riches.

Donc, en conclusion, les niveaux de saturation des sols et les apports d'engrais organiques semblent être les facteurs les plus importants à considérer si l'on envisage l'élimination du phosphore dans les engrais de démarrage.

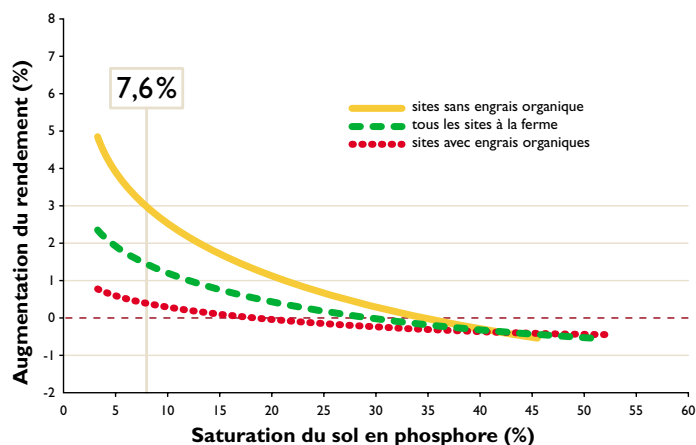


Figure 9 : Augmentation du rendement suite à l'ajout de phosphore dans le démarreur des essais à la ferme

Essais en parcelles expérimentales

Selon les résultats obtenus des essais en parcelles expérimentales sur des sols de niveaux riches ou plus, il n'y a aucune justification économique ou agronomique pour le maintien du phosphore dans le démarreur. Les revenus générés par les faibles augmentations de rendement ne compensent pas les coûts d'achat du phosphore liquide ou granulaire. Les marges brutes qui s'en dégagent sont souvent négatives (Figure 10). Le haut potentiel de rendement des terres ne semble pas modifier ce constat, puisque les variations de rendement sont également très minimales (Figure 11).

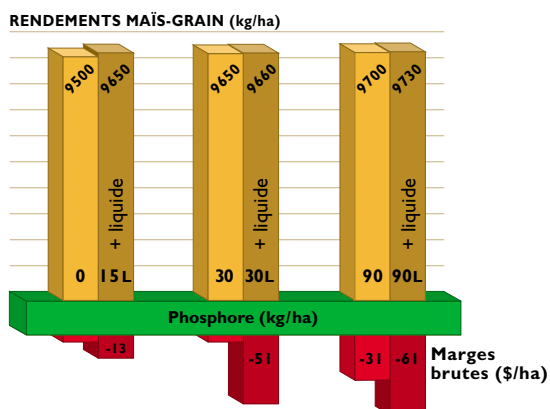


Figure 10: Moyenne des rendements pour les parcelles expérimentales de 2001 ainsi que les marges brutes qui s'en dégagent



Photo 1: Toxicité ammoniacale de trois plantules de maïs, printemps 2000



Photo: Toxicité ammoniacale

Un des sites en parcelles expérimentales a présenté un rendement significativement plus élevé avec le démarreur sans phosphore (Figure 11). Ce site ayant une saturation en P de 23%, a été semé le 25 avril 2002, avant la chute des 10 cm de neige survenue le lendemain du semis. Les températures basses ont retardé la levée des plants de plus de 4 semaines. Lors de ce stress extrême, toutes les sources de phosphore comparées dans l'essai semblent avoir rehaussé le stress déjà existant sur les semences et provoqué des pertes plus importantes des populations. De plus, l'ajout d'engrais liquide a augmenté davantage ce stress par rapport au phosphore granulaire. Ce stress s'est traduit par une mortalité encore plus grande des semences. Le même phénomène avait été observé lors d'un essai à la ferme au printemps 2000. Le stress des engrais liquides (dans ce cas-ci, l'azote de l'engrais liquide était en partie constituée d'urée) ajouté au stress extrême des conditions froides, pluvieuses et peu ensoleillées, avait généré des symptômes sévères de toxicité ammoniacale sur les plantules de 3 feuilles (Photo 1). Cette toxicité s'est traduite par un retard de croissance et une baisse importante de rendement.

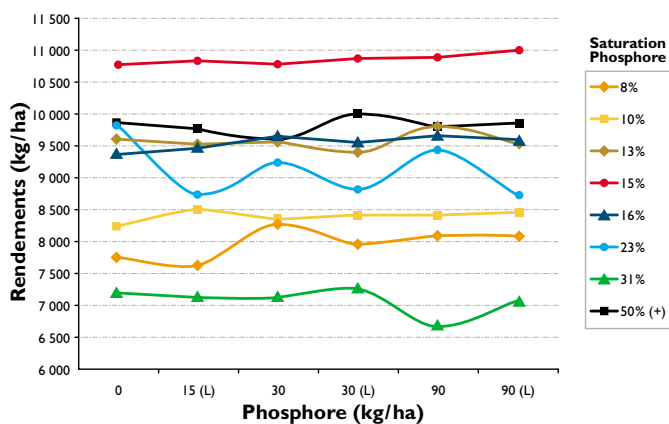
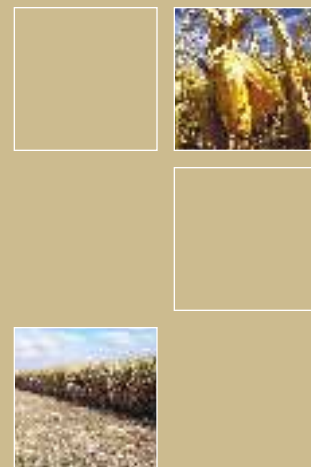


Figure 11: Rendements des parcelles expérimentales





L'humidité à la récolte

Pour les essais à la ferme, l'ajout de phosphore dans les démarreurs tend à réduire très légèrement l'humidité du grain lors de la récolte. Cette diminution est en moyenne inférieure ou égale à 0,4% pour les sols dont la saturation en phosphore est supérieure à 4%. Pour les essais en parcelles expérimentales sur sols riches, les variations d'humidité ne se sont pas avérées significatives (Figure 12). Les variations observées sont en deçà de la plus petite valeur significative qui est d'environ 0,6% selon l'analyse statistique.

Le poids spécifique du grain

Pour les essais à la ferme, l'ajout de phosphore dans les démarreurs tend à augmenter très légèrement le poids spécifique du grain lors de la récolte. Cette augmentation est en moyenne inférieure ou égale à 0,4 kg/hl pour les sols dont la saturation en phosphore est de 4% et plus. Pour les essais en parcelles expérimentales sur sols riches, les variations de poids spécifique ne sont pas significatives (Figure 13). Les variations observées sont toutes en deçà de la plus petite valeur significative qui est d'environ 0,6 kg/hl selon l'analyse statistique.

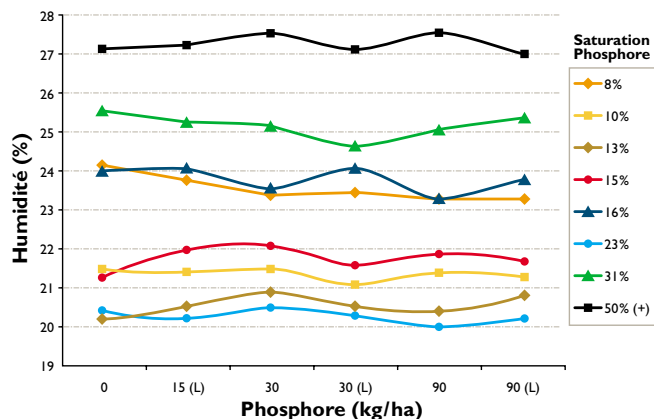


Figure 12: Humidités des parcelles expérimentales

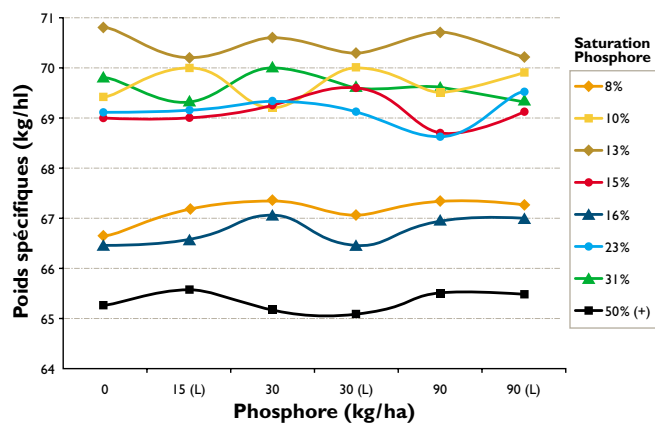


Figure 13: Poids spécifiques des parcelles expérimentales

DES PLANTULES VIOLETTES²

Symptômes d'origine génétique

L'apparition de la couleur violette sur les plantules résulte de l'activité de gènes servant à la pigmentation, il s'agit dans ce cas de pigments d'anthocyanes. Certains des hybrides les plus populaires sont porteurs des gènes de pigmentation violette et prennent régulièrement cette couleur lorsqu'ils sont soumis au froid au cours du stade plantule. Pareillement, si la température de l'air varie trop entre la nuit et le jour, de 4 à 26°C par exemple, le processus se met également en marche. Ces gènes sensibles à la température ne sont actifs dans les plantules qu'avant le stade 7 feuilles. Les essais réalisés sur des maïs dont la couleur violette au stade plantule est d'origine génétique n'ont jamais fourni la preuve d'effets nuisibles sur le métabolisme, le développement, la production de chlorophylle ou le rendement. La coloration violette disparaît après le stade 7 feuilles, c'est-à-dire très vite si le temps se réchauffe et que le maïs pousse rapidement. En règle générale, il n'y a pas de lien direct entre l'aspect de la plantule et la performance finale de la récolte, à condition que le peuplement soit satisfaisant.

Les chercheurs n'ont observé aucune différence à ce stade de croissance de 7 feuilles entre les plantules vertes et les plantules violettes. On a découvert également que les hybrides se colorant en violet quand ils sont exposés au froid contiennent autant de chlorophylle (pigment vert) que ceux qui restent verts dans les mêmes conditions.



Michel Dupuis

Photo 2: Coloration violette de nature génétique

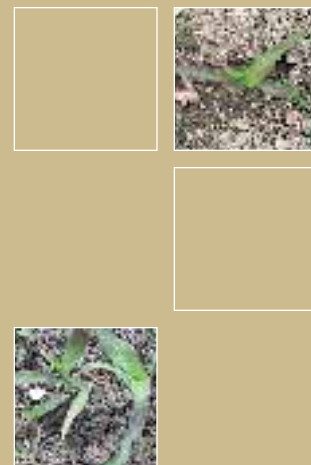
Symptômes d'une carence

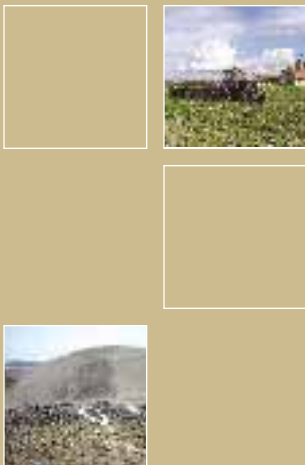
Des feuilles violacées peuvent aussi être le résultat d'une carence en phosphore. Pour valider un diagnostic de coloration violette d'origine génétique, il faut examiner la couleur des plantes dans la totalité du champ. Si tout le champ est violacé, le phénomène est probablement de nature génétique (Photo 2). Au contraire, des plants de maïs violets répartis de manière très irrégulière peuvent trahir une carence en phosphore. Également, si les plantes ont dépassé le stade de 6 à 8 feuilles, et qu'elles sont violettes, l'insuffisance en phosphore est plus probable (Photo 3). L'accumulation et la combinaison de plusieurs stress liés à l'environnement – froid, structure défavorable du sol, compactage, mauvaise répartition des engrais, quantités de résidus organiques, certains herbicides – limitent la quantité de phosphore disponible pour la jeune plantule. Ceci provoquera une croissance irrégulière qui touchera à divers degrés aussi bien les maïs verts que les maïs violets.



François Ylens

Photo 3: Coloration violette suite à une carence en phosphore causée par la compaction du sol





STRATÉGIE DE FERTILISATION

Quelques stratégies de fertilisation vous sont proposées pour permettre d'établir une gestion mieux appropriée du phosphore dans les démarreurs. Selon les différentes situations retrouvées chez les entreprises qui gèrent de grandes quantités de phosphore provenant des engrais de fermes, les stratégies d'utilisation du phosphore peuvent être différentes. Un choix

doit être fait parmi les sources de phosphore liquide ou granulaire ou encore, sans aucun phosphore minéral dans les démarreurs à maïs-grain (Figure 14). L'utilisation du bilan minéral à la surface du sol est l'information qui détermine le choix des formes, liquide ou granulaire, et des quantités de phosphore à appliquer avec les démarreurs.

1. Il est peu recommandable d'éliminer le phosphore du démarreur sur les sols dont la richesse est inférieure à 7,6% de saturation en phosphore.

À des niveaux de saturation du sol en phosphore inférieurs à 7,6%, peu importe dans quelle situation d'enrichissement le sol se retrouve, l'ajout de phosphore dans l'engrais de démarrage peut conduire à des gains de rendement en grains. L'effet sur le démarrage de la culture n'est jamais optimum uniquement avec le phosphore des engrais organiques.

Le bilan phosphore à la surface du sol est la différence entre toutes les importations et les exportations de phosphore dans un même champ.

Le bilan phosphore à la surface du sol est un élément d'information important pour déterminer le choix à faire entre un phosphore granulaire moins dispendieux ou un phosphore liquide qui pourra être utilisé aussi efficacement de façon stratégique à de très petites quantités à l'hectare. Des considérations de coûts des différents intrants devraient guider le choix entre un démarreur granulaire ou liquide.

Suivre les recommandations du Guide de référence en fertilisation du CRAAQ pour les sols qui ne reçoivent pas d'applications d'engrais organiques.

2. Éliminer le phosphore granulaire pour les sols recevant des engrais organiques dont la saturation en phosphore est entre 7,6% et 15%.

Pour éviter un enrichissement excessif des sols, l'utilisation du phosphore liquide est sans doute le meilleur choix pour ces sols déjà riches en phosphore. L'utilisation d'une petite quantité de phosphore liquide permet d'atténuer les variations de la richesse du sol à travers le champ. L'effet démarreur sur les plantules est maintenu par ce phosphore minéral liquide sans trop réduire la capacité de réception du champ pour l'épandage d'engrais

Les sols ayant ces niveaux de saturation et qui reçoivent très rarement des applications d'engrais organiques, pourraient bénéficier d'une forme granulaire de phosphore à moindres coûts.

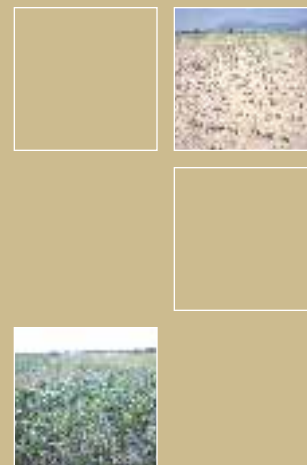
organiques. Par contre, si les terres, reçoivent annuellement des engrais organiques et qu'un enrichissement trop élevé est prévisible à court terme, il faut envisager l'élimination complète de toute application d'engrais phosphaté. L'application de phosphore liquide pourrait être maintenue uniquement sur les terres en mauvaises conditions, et ce, jusqu'à ce que les correctifs nécessaires soient apportés aux problèmes identifiés.

Pour sensiblement le même coût, 12 kg/ha de P₂O₅ sous forme liquide produiront des effets de démarrage semblables à 30 ou 40 kg/ha de phosphore granulaire.

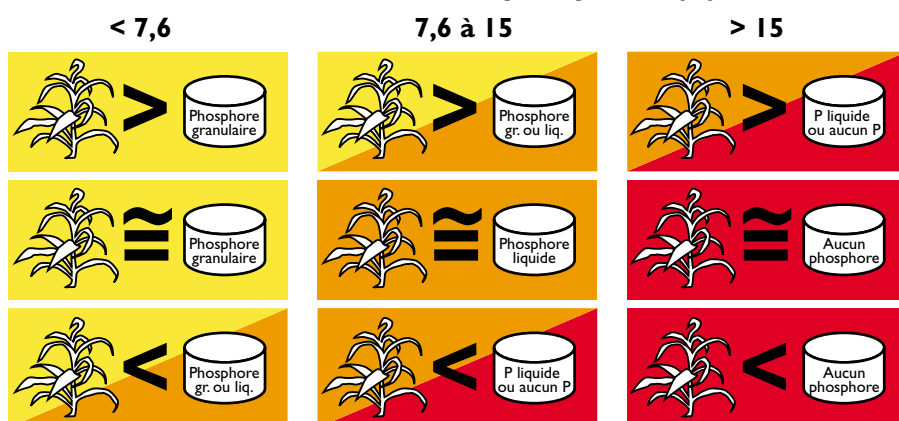
3. Éliminer toutes formes d'engrais minéraux phosphatés (liquide ou granulaire) sur tous les sols dont la richesse est supérieure à 15% de saturation en phosphore.


L'espérance d'augmenter les rendements pour ces niveaux de richesse du sol est très mince. La faible réponse, traduite par une augmentation de la biomasse des plantules, souvent imperceptible à l'œil nu, est considérée comme purement esthétique. Certains sols mal drainés ou en mauvaise condition peuvent


toujours répondre aux applications de phosphore dans les démarreurs. Il sera sans doute plus avantageux d'apporter les correctifs appropriés plutôt que de continuer d'enrichir ces sols au détriment de l'environnement et d'hypothéquer ainsi sa capacité de réception pour l'épandage d'engrais organiques.





Saturation du sol en phosphore (%)



 = quantité de phosphore exportée hors du champ par la récolte

 = quantité de phosphore importée au champ par épandage d'engrais organiques

 Phosphore granulaire

 Phosphore liquide


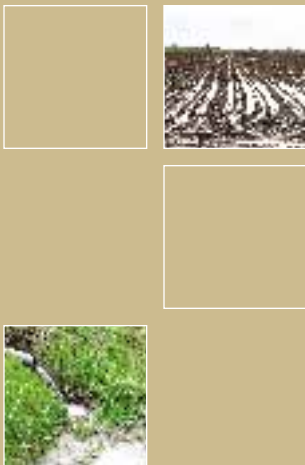
 Démarreur sans phosphore

Figure 14: Recommandation des formes de démarreurs selon la saturation (%) du sol en phosphore



LE PHOSPHORE DANS L'EAU

En 1994, l'Agence américaine de Protection de l'Environnement rapportait que la dégradation des eaux d'approvisionnement des rivières et des lacs était, dans une proportion de 70%, causée par la pollution diffuse provenant du milieu agricole.³

Plusieurs chercheurs ont démontré qu'à un taux de saturation en phosphore supérieur à 10%, la mobilité du phosphore augmente dans les sols.⁴ Il est proposé par le CRAAQ dans son Guide de référence en fertilisation (2003) de rechercher à stabiliser ces niveaux de saturation en phosphore entre 5,1 et 7,5% pour les terres agricoles.

Le phosphore dans l'eau augmente la croissance de la flore aquatique à des niveaux excessifs par rapport à la capacité du milieu à maintenir son équilibre: c'est l'eutrophisation. Cette masse organique biodégradable

augmente considérablement la demande en oxygène disponible dans l'eau, ce qui a pour conséquence de mettre en péril la faune aquatique et notamment les poissons.

Plusieurs autres problèmes sont également rapportés. Certains organismes qui prolifèrent dans ces eaux chargées d'éléments fertilisants produisent des toxines qui ont pour conséquence de réduire encore davantage la qualité des eaux et d'augmenter les risques pour la santé humaine et animale.

Bien que l'érosion hydrique à la surface des terres agricoles joue à elle seule un rôle majeur dans la contamination des eaux en phosphore, une saine gestion du phosphore basée sur la richesse du sol fait partie de la solution pour un meilleur contrôle de la pollution d'origine agricole.



3. Sharpley, A., Meisinger, J.J., Breeuwsma, A., Sims, J.T., Daniel, T.C. and Schepers, J.S. 1998. Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. Animal waste utilization. Edited by Hatfield, J.L. and Stewart, B.A. ISBN 1-57504-068-9.

4. GIROUX, M.; TRAN, T.S. décembre 1996, *Op cit*.

CONCLUSION

La disponibilité du phosphore organique doit être considérée comme étant significative pour la croissance du maïs-grain. Le phosphore provenant des engrais organiques réagit moins rapidement avec les éléments du sol pour se précipiter sous formes de complexes insolubles. Il demeure disponible dans le sol plus longtemps pour les cultures.

Les essais de comparaison avec et sans phosphore dans les engrais de démarrage, réalisés sur plus de 187 fermes ainsi que sur 8 sites en parcelles expérimentales, démontrent que les plantules ont tendance à mieux démarrer lorsque le phosphore minéral fait partie de la composition du démarreur. Le positionnement stratégique d'un démarreur phosphaté est l'élément clé de son efficacité par rapport aux épandages d'engrais organiques. Des augmentations de biomasse durant les premières semaines de croissance sont parfois spectaculaires sur les sols pauvres. Par contre, sur les sols excessivement riches, une très faible augmentation de biomasse des plantules de maïs est dans la plupart des cas jugée comme

étant purement esthétique. À ces niveaux de richesse, le sol fournit à lui seul tout le phosphore nécessaire pour assurer un excellent démarrage de la culture de maïs.

Indépendamment de la richesse des sols, peu de réponses aux démarreurs phosphatés sont observées pour les rendements lorsque des engrais organiques sont épandus et valorisés durant la saison de croissance. Nous observons que le phosphore apporté par les engrais organiques compense en partie le phosphore minéral du démarreur. Les augmentations de rendement les plus importantes sont survenues sur des sols dont la saturation en P était inférieure à 4% et qui n'avaient reçu aucun épandage d'engrais de ferme. Pour les sols riches et en bonne condition, il n'y a aucune justification économique ou agronomique pour le maintien du phosphore dans le démarreur. Les niveaux de saturation des sols et les apports d'engrais organiques sont les facteurs les plus importants à considérer pour envisager l'élimination du phosphore des engrais de démarrage.

REMERCIEMENTS

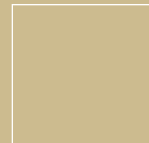
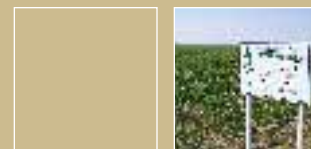
Un travail d'une telle envergure nécessite la collaboration de plusieurs intervenants tant d'un point de vue technique que financier. Ces essais n'auraient jamais pu voir le jour et être menés à bien sans la précieuse collaboration de centaines de producteurs agricoles soucieux de vouloir conjuguer leur rentabilité d'entreprise à celle du respect de leur environnement. C'est donc à eux que s'adressent les tout premiers remerciements.

Des remerciements s'adressent également à tous les conseillers agricoles qui ont investi sans réserve beaucoup de temps, de professionnalisme et d'énergie à mettre en place des parcelles de comparaison ainsi qu'à recueillir toutes les informations nécessaires pour la réussite de cette mise en commun de nouvelles connaissances. Il est à espérer qu'ils auront trouvé en retour certaines compensa-

tions leur permettant de parfaire leur expertise professionnelle dans l'objectif de toujours mieux servir leurs clientèles privilégiées.

Des remerciements vont également à la Direction régionale de la Montérégie, secteur Est, pour son précieux soutien financier, un levier essentiel à l'initiative et au maintien de la dynamique nécessaire à la créativité des professionnels du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation de la Montérégie.

Des remerciements vont également à tout le personnel du CÉROM de la station de recherche de Saint-Bruno-de-Montarville avec qui le partage des infrastructures, des équipements et de certaines commodités ont permis de mener à bien ce projet.



Texte et coordination :

Jean Cantin, agronome, MAPAQ, Centre de services de St-Bruno
jean.cantin@agr.gouv.qc.ca

Collaborateurs :

Producteurs agricoles
Conseillers des clubs-conseils en agroenvironnement
Conseillers des Centres de services du MAPAQ
Gilles Tremblay, agronome, Centre de recherches sur les grains
Coordination des clubs-conseils en agroenvironnement

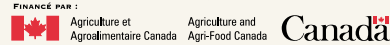


Financement des essais de fertilisation :

MAPAQ, Direction régionale de la Montérégie, secteur Est;
Programme-cadre: Appui au développement de l'agriculture
et de l'agroalimentaire en région.

Financement pour la production du document :

Ce document a été produit grâce à la contribution financière du CDAQ.
Le soutien financier du CDAQ est possible grâce au
Fonds canadien d'adaptation et de développement rural
d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.



Ce document est disponible sur le site Agri-Réseau :

<http://www.agrireseau.qc.ca/Grandescultures/> (maïs/régie/fertilisation)