

Besoins en fertilisation des cultures : comment les déterminer?

Module 4 - Fertilisation
FEUILLET 4-B

Introduction	1
Détermination des besoins en azote	2
Emploi des grilles de fertilisation du CPVQ	2
Détermination basée sur un test des nitrates du sol	6
Détermination des besoins en phosphore et autres éléments nutritifs	7
Exemple de calcul des besoins de fertilisation	9
Faut-il augmenter la fertilisation dans les champs à haut potentiel de rendement?	10
Quelques exceptions où il peut être justifié d'augmenter la fertilisation	10
Les besoins de fertilisation des cultures sont-ils différents en travail réduit, en culture sur billons et en semis direct?	12
Pour en savoir plus	13
Annexe 1. L'analyse du sol	14

Introduction

Une fertilisation optimale favorise l'obtention de bons rendements tout en maximisant la **rentabilité des cultures**. Elle contribue aussi à maintenir l'**équilibre de la fertilité du sol** et à éviter l'apparition de différents problèmes culturaux (ex. : carences, verse, croissance excessive des mauvaises herbes, etc.). Fertiliser sans excès permet également de **réduire les risques de contamination des eaux** par les éléments nutritifs, en particulier par l'azote et le phosphore.

Ce feuillet présente différents renseignements aidant à établir les besoins de fertilisation des cultures. Il met l'accent en particulier sur la détermination des besoins en **éléments majeurs**. On y retrouve également en annexe de l'information relative à l'**analyse du sol**.

Daniel Cloutier,
Institut de malherbolgie

Faire un usage raisonné des grilles de fertilisation

Les *Grilles de référence en fertilisation* du CPVQ (1996) constituent la référence de base pour déterminer les besoins en fertilisation des cultures. Le [feuillet 4-A](#) présente les raisons qui justifient le choix de ces grilles.

L'expérience acquise au fil des années sur le terrain montre que les grilles CPVQ sont **adaptées à la plupart des sols**. Des essais menés par Tremblay (1999) sont éloquentes à cet effet. Pour des parcelles de maïs-grain cultivées dans la région de la Montérégie, le rendement économique optimal a été obtenu avec une dose en azote de 170 kg/ha et moins dans 88% des cas.

Les grilles de fertilisation ne doivent toutefois en aucun cas se substituer au travail du conseiller qui demeure responsable de la recommandation faite au producteur, selon le contexte et les conditions particulières de l'entreprise. Sur la base d'une **bonne connaissance du sol et des cultures**, le conseiller peut en effet recommander des ajustements (à la hausse ou à la baisse) aux recommandations des grilles lorsque la situation le justifie. Souvent, la meilleure façon d'identifier ces situations est de conduire des **essais à la ferme** visant à valider les ajustements envisagés.

Détermination des besoins en azote⁽¹⁾

La teneur en azote disponible du sol est influencée par sa solubilité dans l'eau et par l'activité biologique. Elle fluctue beaucoup dans le temps, notamment en fonction des variations climatiques. L'échantillonnage conventionnel des sols ne permet pas d'en évaluer la réserve en azote. La méthode la plus courante de détermination des besoins en azote des cultures fait appel à l'emploi des **grilles de fertilisation du CPVQ**. Une autre approche, basée sur un **test des nitrates du sol**, peut également s'avérer intéressante dans certaines situations. Cette dernière implique un échantillonnage particulier du sol.

Emploi des grilles de fertilisation du CPVQ

La détermination des besoins en azote se fait :

1. en identifiant les besoins totaux de la culture dans les grilles ;
2. en y soustrayant, lorsque cela s'applique, les contributions suivantes :
 - précédent cultural ;
 - apports reliés aux engrais de ferme ;
 - minéralisation de la matière organique du sol ;
 - engrais verts.

1. Cette section montre comment établir les besoins totaux de la saison. Lors de l'élaboration du programme de fertilisation, vérifiez également s'il faut procéder au fractionnement de la dose recommandée. Consultez les *Grilles de référence en fertilisation* (CPVQ, 1996) pour en savoir plus à ce sujet. Certaines informations apparaissent aussi dans le [feuillet 4-A](#).

GRILLE DE RÉFÉRENCE POUR LA FERTILISATION DU MAÏS-GRAIN

MAÏS-GRAIN, MAÏS À ENSILAGE

pH optimum : 6,5

AZOTE (N)		Recommandation (kg N/ha)	
Temps et mode d'apport		120-170	
selon la zone climatique, dont 20-50 kg/ha en bandes au semis			
PHOSPHORE (P)		Recommandation (kg P ₂ O ₅ /ha)	
Analyse (kg P/ha)			
Pauvre	0-30	90-120	
	31-60	70-90	
Moyen	61-90	60	
	91-120	50	
Bon	121-150	40	
Riche	151-250	30	
Excessivement riche	251 et +	20	
POTASSIUM (K)		Recommandation (kg K ₂ O/ha)	
Analyse (kg K/ha)		Maïs-grain	Maïs à ensilage
Pauvre	0-50	175	205
	51-100	150	185
Moyen	101-150	100	170
	151-200	75	140
Bon	201-250	50	120
Riche	251-500	0-30	40-60
Excessivement riche	501 et +	0	0-20

CPVQ, 1996

Précédent cultural

Lors de leur décomposition, certains types de résidus de culture libèrent de l'azote utilisable par la culture suivante. Les valeurs généralement considérées pour différents types de résidus apparaissent au tableau 1.

Tableau 1. CONTRIBUTION EN AZOTE DE DIVERS TYPES DE RÉSIDUS DE CULTURE (KG N/HA)^(a)

Culture	Racines seulement	Racines et tiges à maturité (paille)	Abandon de culture
Avoine	0	0	0
Blé de printemps	0	0	0
Blé d'automne	0	0	0
Féverole et lupin	25	40	80-100
Grains mélangés	0	0	0
Haricot sec	25	25	40-60
Luzerne (entretien)	40-70	80-120	80-120
Mais-grain	0	0	0
Millet japonais	0	0	0
Orge	0	0	0
Pâturage et prairie 40 % et + de légumineuses (entretien)	40-60	60-85	60-85
Pâturage et prairie 80 % et + de légumineuses (entretien)	40-70	80-120	80-120

a) Tiré de CPVQ (1996)

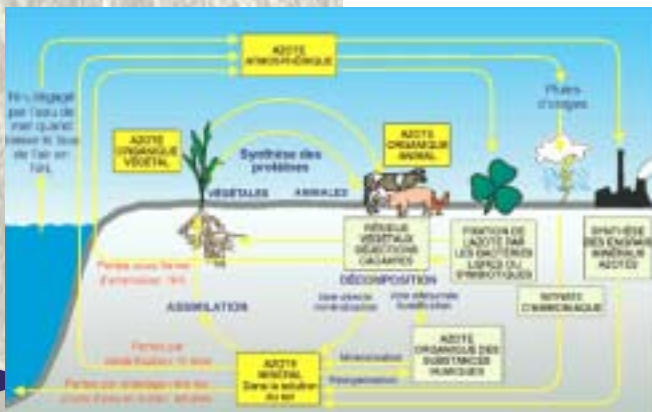
Apports reliés aux engrais de ferme

Les renseignements fournis dans le [feuillet 4-C](#) montrent comment évaluer ce type de contribution.

Minéralisation de la matière organique du sol

La décomposition microbienne de la matière organique présente dans le sol libère de l'azote. Ce type de contribution peut être assez appréciable dans certains sols, notamment dans ceux présentant un taux élevé de matière organique et de bonnes conditions d'aération et de drainage.

Les **champs nouvellement drainés** sont particulièrement propices à une minéralisation accrue de la matière organique et à la libération de quantités appréciables d'azote.



Pour considérer la contribution en azote associée à la minéralisation de la matière organique, **il faut avoir une bonne connaissance du sol et du comportement des cultures**. C'est d'ailleurs habituellement grâce à des **indices** comme les suivants qu'il est possible d'identifier les situations pour lesquelles l'approche est utilisable :

- la présence de verse chez les céréales ;
- des teneurs en nitrates élevées dans le sol ;
- des teneurs en nitrates élevées dans les tiges de maïs-grain à maturité physiologique.

La réalisation d'**essais à la ferme** constitue également la meilleure façon de vérifier l'hypothèse d'une contribution en azote importante et associée à la minéralisation de la matière organique.

Le cycle de l'azote

Adapté de Soltner, 1989

Lorsque les conditions sont favorables, une approche souvent utilisée au Québec consiste à considérer une fourniture en azote par la matière organique du sol pouvant aller **jusqu'à 15 kg/ha d'azote pour chaque unité de pourcentage dépassant 4% de matière organique**. Cependant, par mesure de prudence, on recommande habituellement de limiter, au début, la contribution en azote de la matière organique à des valeurs de l'ordre de 40 à 50 kg/ha d'azote dans le maïs-grain et de 25 à 30 kg/ha d'azote dans les céréales. Des contributions plus élevées pourront par la suite être considérées si des indices ou des essais à la ferme démontrent que le sol libère de l'azote en quantités plus importantes.

Minéralisation de la matière organique et apport en azote : autres aspects à considérer

- Certains sols riches en matière organique fournissent très peu d'azote. C'est le cas notamment des sols acides, mal aérés ou mal drainés. Ces derniers sont moins propices à la décomposition microbienne de la matière organique et favorisent même son accumulation.
- En conditions de sol froid, le taux de minéralisation de la matière organique est lent. La contribution en azote de la matière organique en début de saison est donc habituellement faible.
- La contribution de la matière organique à la réserve en azote du sol peut varier considérablement à l'intérieur d'un même champ en raison de la variation spatiale de la teneur en matière organique ou de fluctuations propres à certaines caractéristiques de sol (aération, drainage, pH, etc.). Il est à noter, en particulier, que le nivellement du sol peut rendre la distribution spatiale de la matière organique très irrégulière.
- La synchronisation dans le temps du prélèvement des cultures avec la minéralisation maximise l'utilisation de l'azote provenant de la matière organique.
- La contribution en azote de la minéralisation de la matière organique est moins importante dans les régions plus nordiques (ex. : Abitibi, Bas-Saint-Laurent, Saguenay/Lac-Saint-Jean) (N'Dayegamiye *et al.*, 1998).

La mise en place d'**essais à la ferme** s'avère très utile pour valider les estimations relatives à la contribution en azote des engrais verts et pour la préciser davantage.

Engrais verts

La quantité d'azote libérée par les engrais verts varie principalement en fonction :

- du type d'engrais verts (ex. : crucifères, graminées, légumineuses) ;
- de l'espèce ensemencée ;
- de la quantité de matière végétale produite (biomasse) ;
- de la maturité de l'engrais vert au moment de son enfouissement.

Le climat et différentes propriétés du sol exercent également une influence importante.

Compte tenu des nombreux facteurs impliqués, il est difficile d'établir précisément la contribution en azote des engrais verts. Il demeure cependant possible de l'**estimer** (voir le [feuillet 6-A](#) qui présente une méthode de calcul).



Engrais vert de chou fourrager et de moutarde blanche

ENVIROSOL

Quelques précisions sur les besoins en azote des cultures en début de saison

Les contributions en azote associées au précédent cultural, à la matière organique, aux engrais organiques et aux engrais verts proviennent en grande partie de la minéralisation microbienne du matériel organique. En début de saison, l'activité biologique des sols est moins intense en raison des **températures froides**. La présence de conditions de **sécheresse** peut également la ralentir. Certaines cultures exigent des quantités appréciables d'azote au démarrage. Il est alors important d'assurer un apport suffisant d'azote en début de saison. Dans le cas du maïs-grain, par exemple, il est recommandé, selon les grilles de fertilisation du CPVQ (1996), d'appliquer de 20 à 50 kg/ha d'azote en bandes au démarrage, sous forme d'engrais minéral granulaire.

Détermination basée sur un test des nitrates du sol

La teneur en nitrates du sol varie considérablement pendant la saison de croissance. **Le test des nitrates est donc ponctuel.** Il mesure une valeur pour un temps donné et des conditions précises. C'est un peu comme si l'on photographiait un objet en mouvement.

Les **trousses d'analyse rapide des nitrates** utilisables à la ferme peuvent être employées pour la réalisation de tests des nitrates. Giroux *et al.* (1994) ont démontré notamment que les tests CARDY, N-TRAK et QUICK-TEST comportent généralement une précision suffisante. L'emploi de ces trousses n'élimine pas l'exigence relative au séchage des échantillons de sol avant leur analyse.

Au cours des dernières années, des essais portant sur l'utilisation du test des nitrates à des fins de détermination des besoins en azote des cultures ont été réalisés au Québec, notamment dans les céréales et le maïs-grain (Tran, 1996). L'approche consiste à analyser la teneur en nitrates du sol peu de temps avant l'application des engrais. Dans le cas des **céréales**, le test des nitrates est employé pour établir les besoins en azote au démarrage. Dans le **maïs-grain**, il est surtout utilisé pour orienter la fertilisation en postlevée.

Diverses **grilles de référence** sont employées pour déterminer les besoins en azote des cultures en fonction de la teneur en nitrates du sol. Dans le cas du **maïs-grain**, on se réfère habituellement à des grilles développées en Ontario et aux États-Unis (ex. : grilles développées en Iowa et au Vermont). Quelques grilles existent également dans les **céréales**. Giroux *et al.* (1993) ont notamment mis au point une grille basée sur des essais réalisés au Québec. Lorsque la méthode est réalisée adéquatement, des résultats satisfaisants sont habituellement obtenus sous nos conditions avec ces approches. Néanmoins, il s'avère souvent difficile de déterminer de façon fiable les besoins en azote des cultures lorsque la teneur en nitrates du sol est faible (ex. : $N-NO_3 < 25 \text{ mg/l}$). **Il subsiste ainsi encore des besoins appréciables de recherche et de validation au Québec à l'égard de l'emploi des grilles de référence associées au test des nitrates.**

Plusieurs intervenants considèrent avant tout le test des nitrates du sol comme un **outil complémentaire** à l'approche usuelle, basée sur l'emploi des grilles du CPVQ et sur l'estimation de la fourniture en azote du sol. Son utilisation peut en effet aider à raffiner la gestion de l'azote et à développer une expertise propre aux sols de chaque ferme. Le test des nitrates peut par exemple servir à **vérifier si la capacité du sol à fournir de l'azote disponible correspond à celle estimée**. Cela s'avère particulièrement intéressant pour faire des **essais à la ferme** visant à confirmer l'importance des contributions en azote associées à certains précédents culturaux, aux arrière-effets des engrais de ferme, à la minéralisation de la matière organique du sol ou aux engrais verts. Le suivi des nitrates du sol dans un même champ à quelques reprises pendant la saison de croissance et année après année permet par ailleurs d'**étudier le synchronisme entre l'apport en azote du sol et l'évolution des besoins des cultures**.

Dans l'ensemble, le test des nitrates peut s'avérer un outil utile lorsqu'on connaît bien ses conditions optimales d'emploi et ses limites (voir l'encadré suivant). **Si vous envisagez son utilisation, il est fortement recommandé de vous référer à un conseiller expérimenté.**

Principales contraintes et limites du test des nitrates du sol

La fiabilité de ce test est souvent réduite en présence :

- de teneurs en nitrates du sol inférieures à 25 mg/l N-NO₃;
- de sols froids ou de conditions climatiques pluvieuses ou, au contraire, très sèches (dans de telles situations, on risque de sous-estimer la capacité du sol à fournir de l'azote);
- de sols non homogènes (c'est le cas, par exemple, en présence d'une variation spatiale importante de la matière organique, un phénomène souvent rencontré dans les champs récemment nivelés).

Par ailleurs, lorsque les teneurs en nitrates sont faibles, certaines grilles recommandent des doses élevées d'azote qui ne sont pas justifiables sous nos conditions aux plans agronomique, économique et environnemental.

Enfin, peu de temps avant la fertilisation, il faut prélever des échantillons de sol et procéder rapidement à leur séchage et à leur analyse (la méthode demande de la disponibilité et du temps).

Un autre outil diagnostic : le test des nitrates dans les tiges de maïs-grain

L'analyse des nitrates des tiges à maturité physiologique peut aider à raffiner la fertilisation azotée du maïs-grain. Des teneurs élevées en nitrates dans les tiges indiquent souvent une disponibilité excessive de l'azote pour les plants. Consultez votre conseiller pour en savoir plus à ce sujet.

Détermination des besoins en phosphore et autres éléments nutritifs

Les **besoins en phosphore** d'une culture donnée sont établis en considérant la teneur du sol en **phosphore assimilable** (P Mehlich III) et en se référant aux **grilles de fertilisation du CPVQ** (1996). Pour bien les déterminer, il faut également soustraire de la valeur obtenue dans les grilles du CPVQ tout apport en phosphore déjà effectué en prévision de la saison de culture à venir (ex. : engrais de ferme appliqués l'automne précédent). L'information fournie au [feuillet 4-C](#) montre comment évaluer les apports provenant des **engrais de ferme**. Les contributions en phosphore associées au **précédent cultural**, à la minéralisation de la **matière organique du sol** et aux **engrais verts** sont généralement négligeables.



Équilibre
du phosphore
dans les sols

Marcel Giroux, IRDA

Certaines pratiques (par exemple, l'emploi de fumier, l'ensemencement d'engrais verts, la rotation des cultures, etc.) ont pour effet d'améliorer les propriétés physiques et de stimuler l'activité biologique du sol. Il en résulte généralement une meilleure disponibilité des éléments nutritifs ainsi qu'un développement optimal du système racinaire.

Le saviez-vous ?

Les chaux dolomitiques et magnésiennes constituent les sources de magnésium les plus souvent économiques.

Phosphore : fertilisation de démarrage dans le maïs-grain

Deux questions sont souvent soulevées en relation avec l'application de phosphore en bandes au semis dans le maïs-grain.

1. Est-il nécessaire de recourir à cette approche lorsque les sols sont déjà riches en phosphore ?
2. Est-il nécessaire de recourir à cette approche lorsque y a déjà eu un apport d'engrais de ferme comblant l'ensemble des besoins en phosphore de la saison, et cela, sans égard à la richesse en phosphore du sol ?

Certains essais montrent que l'application de phosphore en bandes au semis ne contribue pas à augmenter significativement le rendement du maïs-grain dans les deux cas exposés ci-dessus. Ces travaux ont cependant été réalisés dans des conditions précises et souvent avec une durée et une envergure limitées. **Il est, par conséquent, hasardeux d'extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des régions et des sols.** On n'a entre autres pas la certitude que l'élimination de l'application de phosphore en bandes au semis n'aura pas d'impacts négatifs sur le rendement du maïs-grain ensemencé dans des sols lents à se réchauffer au printemps*. Ces conditions défavorisent en effet le prélèvement du phosphore par les plantes et ralentissent la minéralisation microbienne des engrais de ferme.

Divers travaux de recherche se poursuivent actuellement et des réponses plus précises concernant ces aspects pourraient donc bientôt être données. D'ici là, il est préférable de maintenir l'application de phosphore en bandes au semis tant que l'on n'a pas la certitude qu'elle peut être éliminée. **Chaque ferme a toutefois intérêt à conduire ses propres essais** et à mettre en place dans certains de ses champs des parcelles témoins ne comportant pas d'application de phosphore en bandes au semis. D'année en année, cela aidera graduellement à identifier les situations pour lesquelles l'élimination de ce type de fertilisation est envisageable.

* Une texture de sol argileuse, un drainage déficient, une structure de sol détériorée, la présence de compaction et d'une couverture importante de résidus sont propices à un réchauffement plus lent du sol au printemps.

Les besoins en potassium des cultures sont, comme pour ceux en phosphore, déterminés à l'aide de l'analyse de sol ($K_{\text{assimilable}}$ Mehlich III) et des grilles de fertilisation du CPVQ. Les apports en potassium réalisés en prévision de la saison de culture à venir (ex. : engrais de ferme appliqués l'automne précédent) doivent être soustraits des besoins identifiés dans les grilles. Référez-vous au [feuillet 4-C](#) pour savoir comment établir les quantités de potassium associées à l'épandage d'engrais de ferme. Les résidus de culture et les engrais verts emmagasinent du potassium provenant de la réserve du sol. Ils n'ajoutent pas de nouveau potassium au système. L'apport en potassium associé à la minéralisation de la matière organique du sol s'avère quant à lui plutôt réduit.

L'évaluation des besoins en éléments secondaires (calcium, magnésium, soufre) et en oligoéléments se fait par le biais de l'analyse des sols et des recommandations apparaissant dans les *Grilles de référence en fertilisation* du CPVQ (1996). Le suivi des cultures permet aussi de diagnostiquer des carences à partir des symptômes visuels sur la plante. Le diagnostic visuel peut par la suite être confirmé par l'analyse des tissus végétaux ou du sol. La réalisation de traitements de fertilisation foliaire est parfois envisageable pour corriger des carences en oligoéléments.

Évitez de faire l'application à l'automne de **phosphore et de potassium sous forme d'engrais minéraux** sur des sols ne comportant pas de végétation (sols travaillés). Cela **réduit leur efficacité et accroît les pertes ainsi que les risques environnementaux**. Ce type de fertilisation est également **moins rentable**. Intervenez plutôt au printemps ou au début de l'été.

Exemple de calcul des besoins de fertilisation

L'exemple suivant aide à mieux comprendre les renseignements présentés antérieurement.

DONNÉES DE BASE				
Culture ensemencée	Mais-grain			
Précédent cultural	Orge (paille récoltée)			
Texture du sol	Loam			
Teneur en matière organique du sol	4,8%			
Teneur en P _{assimilable} du sol	89 kg/ha (Mehlich III)			
Teneur en K _{assimilable} du sol	181 kg/ha (Mehlich III)			
Épandage d'engrais de ferme	Fumier de bovins laitiers épandu la saison précédente sur les chaumes de céréales à raison de 30 m ³ /ha et enfoui en moins de 24 heures à l'aide d'une herse à disques. Teneurs en N, P ₂ O ₅ et K ₂ O du fumier : 5,5, 3,8 et 5,4 kg/tonne respectivement. Densité apparente 0,75 tonne/m ³ .			
CALCUL DES BESOINS (kg/ha)		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Besoin total de la culture	Selon les grilles de fertilisation du CPVQ (1996).	170	60	75
Contribution reliée au précédent cultural	Selon le tableau 1 .	0	0	0
Contribution reliée à la matière organique	Selon l'approche expliquée antérieurement dans le présent feuillet ((4,8 - 4,0) × 15 = 12) ^(a) . Les contributions en P ₂ O ₅ et K ₂ O sont considérées comme négligeables.	-12	0	0
Contribution reliée aux engrais de ferme	Voir la méthode présentée dans le feuillet 4-C pour obtenir plus de détails sur les calculs à faire ^(b) .	-39	-35	-99
BESOIN RESTANT À COMBLER		119	25	0 (+24)

a) Dans ce cas, des observations de la croissance des cultures antérieures suggèrent de considérer une contribution en azote de la matière organique équivalente à 15 kg/ha par unité de pourcentage dépassant 4% (référez-vous aux sections précédentes pour en savoir plus à ce sujet).

b) Les valeurs suivantes ont été considérées :

- coefficient d'efficacité N-P₂O₅-K₂O : 45, 65 et 90 % respectivement ;
- indice de perte en N lié au mode d'épandage : 1,1 ;
- indice de perte en N lié à la date d'épandage et au type de sol : 1,3 ;
- indice de perte d'efficacité P₂O₅ et K₂O : 1,6 et 1,1 respectivement.

Faut-il augmenter la fertilisation dans les champs à haut potentiel de rendement ?

Dans la grande majorité des cas, l'application de doses supérieures à celles recommandées dans les grilles du CPVQ ne mène pas à l'obtention de rendements plus élevés. Lorsque les recommandations de fertilisation sont suivies, l'obtention de rendements élevés sous nos conditions est davantage **attribuable à l'optimisation des autres facteurs influençant la croissance de la culture**. Par exemple, les conditions climatiques, l'approvisionnement en eau, le drainage et la structure du sol jouent souvent un rôle très important à cet égard. Des essais réalisés en Ontario et rapportés par Fillion et Robert (1994) sont éloquentes à ce sujet. Chez le maïs, les chercheurs ontariens n'ont pu relier les rendements maximums obtenus à la quantité d'azote économiquement rentable. Ils ont également démontré que les recommandations en phosphore et en potassium pour le maïs et le soya étaient suffisantes pour les rendements élevés obtenus sous les conditions de l'Ontario. Les recommandations en phosphore et en potassium considérées étaient inférieures à celles des grilles du CPVQ.

Quelques exceptions où il peut être justifié d'augmenter la fertilisation

Il existe malgré tout certains cas où il est envisageable d'accroître la fertilisation des cultures par rapport aux recommandations normalement prescrites par les grilles du CPVQ. Les paragraphes suivants présentent deux de ces cas :

- la fertilisation azotée du maïs-grain ;
- la fertilisation en phosphore et en potassium ajustée en fonction du prélèvement des cultures dans les champs à haut rendement.

Fertilisation azotée du maïs-grain

Des travaux réalisés au Québec (Tremblay, 1999) montrent que, dans certains sols, une **fertilisation azotée** légèrement supérieure à celle recommandée dans les grilles du CPVQ (ex. : 200 kg/ha alors que la recommandation est de 170 kg/ha) **peut accroître le rendement et la rentabilité du maïs-grain**. Selon certains conseillers, 10 à 15% des sols des régions productrices de maïs-grain répondraient ainsi à l'accroissement de la fertilisation azotée lorsque les conditions climatiques sont favorables à l'obtention de bons rendements. Avant d'augmenter les apports en azote dans le maïs-grain, **il est cependant essentiel de s'assurer que cela est justifié** (voir l'encadré suivant).

Comment savoir s'il est justifié d'augmenter la fertilisation azotée dans le maïs-grain ?

La meilleure façon d'y parvenir est de mener des **essais à la ferme**, en mettant en place quelques parcelles comportant une fertilisation supérieure à la dose recommandée par les grilles du CPVQ. Réalisez ces essais **pendant plusieurs saisons** afin de bien évaluer l'influence des conditions climatiques. Un champ qui répond normalement à une augmentation de la fertilisation azotée peut, par exemple, ne pas y répondre pendant les saisons froides, pluvieuses ou sèches.

C'est habituellement à l'étape de la **fertilisation en postlevée** que l'on doit décider d'accroître la fertilisation azotée. Pour prendre la bonne décision, tenez compte des aspects suivants.

- La **date de semis**. Pour profiter d'un accroissement de la fertilisation azotée, le maïs-grain doit être ensemencé suffisamment tôt afin d'exploiter pleinement la période d'accumulation des unités thermiques maïs (UTM).
- Le **stade d'avancement de la culture en référence à une saison normale**. Si la culture a du retard au moment de la fertilisation postlevée, ses chances de le rattraper sont habituellement faibles. Dans ces conditions, l'accroissement de la fertilisation azotée s'avère souvent inutile et problématique pour la protection de la qualité de l'eau.
- L'**hybride ensemencé**. Les hybrides tardifs et ayant des exigences élevées en UTM sont plus susceptibles d'exploiter une augmentation de la fertilisation azotée. Ils ont un potentiel de rendement plus élevé. À titre d'exemple, lorsque les conditions climatiques ne sont pas limitantes, un hybride ayant des exigences de 2 900 UTM profitera habituellement davantage d'un accroissement de la fertilisation azotée qu'un hybride ayant des exigences de 2 600 UTM.

Fertilisation en phosphore et en potassium ajustée en fonction du prélèvement des cultures dans les champs à haut rendement

Dans le but de maintenir l'équilibre nutritif des sols, on peut tenir compte du **prélèvement des cultures** pour établir la **fertilisation en phosphore et en potassium**. L'approche consiste à faire le **bilan** entre la somme des apports bruts en fertilisants de toutes sources (minérales, organiques et autres) et les prélèvements associés au rendement moyen de la culture au cours des mêmes dernières années. On réajuste ensuite la fertilisation de façon à **combler l'écart obtenu** (voir l'exemple ci-après).

L'approche décrite ci-après requiert un suivi adéquat des champs et de la performance des cultures. Elle ne vise pas à augmenter les rendements, mais bien à **prévenir une diminution de la réserve du sol** en éléments nutritifs. Elle s'avère intéressante en particulier en présence de **rendements supérieurs à la moyenne**. Cette façon de faire **ne doit cependant pas conduire à un enrichissement excessif des sols**. Ainsi, elle ne doit pas être employée lorsque les sols ont déjà un **niveau de richesse élevé**. Il demeure également important de continuer à suivre l'évolution de la teneur en éléments nutritifs du sol. Il faut donc effectuer régulièrement des **analyses de sol** (parfois même annuellement dans certains champs). Cela permet de déterminer si le programme de fertilisation est adéquat et s'il est nécessaire de procéder à des réajustements.

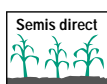
Bilan entre les apports en phosphore et en potassium et les prélèvements effectués par les cultures : un exemple

Culture à fertiliser	Mais-grain
Rendement moyen 1995-1999	10,4 t/ha
P _{Mehlich III}	135 kg/ha (niveau « bon ») ^(a)
K _{Mehlich III}	189 kg/ha (niveau « moyen ») ^(a)
Application P ₂ O ₅ CPVQ	40 kg/ha ^(a)
Prélèvements P ₂ O ₅	71 kg/ha ^(b)
	<hr/>
Bilan	+ 31 kg/ha
Application K ₂ O CPVQ	75 kg/ha ^(a)
Prélèvements K ₂ O	54 kg/ha ^(b)
	<hr/>
Bilan	- 21 kg/ha

Dans cet exemple, on pourra, pour tenir compte des prélèvements plus importants, augmenter les apports en P₂O₅ de + 31 kg/ha. Comme les prélèvements en K₂O sont inférieurs à la recommandation des grilles du CPVQ, on maintiendra les quantités recommandées par ces dernières, soit 75 kg/ha.

- a) Niveau de richesse et recommandations établis selon les *Grilles de référence en fertilisation* du CPVQ (1996).
- b) On considère que les prélèvements en P₂O₅ et en K₂O équivalent respectivement à 6,9 et 5,2 kg par tonne de grain. Ces valeurs sont tirées des *Grilles de référence en fertilisation* du CPVQ (1996).

Les besoins de fertilisation des cultures sont-ils différents en travail réduit, en culture sur billons et en semis direct ?



Les pratiques comme le travail réduit, la culture sur billons ou le semis direct peuvent induire certains changements à l'égard de la disponibilité des éléments nutritifs (voir les [modules 1](#) et [2](#) à cet effet). Elles sont également susceptibles de modifier les propriétés physiques et biologiques des sols de façon à influencer l'assimilation des éléments nutritifs par les cultures. Malgré cela, on recommande, en travail réduit, en culture sur billons et en semis direct, de faire l'évaluation des besoins de fertilisation de la même façon qu'en travail conventionnel. **Les recommandations des grilles du CPVQ demeurent donc applicables dans ces situations**; rien n'a démontré jusqu'à maintenant qu'il faille modifier l'approche. Les effets résultant de la réduction du travail du sol sont probablement mesurés par le biais de l'analyse de sol. Ils sont par le fait même pris en considération lors de l'établissement des besoins de fertilisation avec les grilles du CPVQ. Dans les régions où on utilise ces pratiques depuis longtemps (Ontario, Minnesota, Wisconsin), on a aussi constaté que les grilles employées en travail conventionnel peuvent servir à établir les besoins en fertilisation des cultures dans les autres systèmes de travail du sol.

ENVIROSOL

Pour en savoir plus

- ▶ **CANTIN, J.** 1998. La justification du phosphore dans les démarreurs à maïs-grain. Dans Grandes cultures « La fertilisation : un nouveau casse-tête », Agri-Vision 1998, Journée d'information agricole, Direction régionale Montérégie, secteur Est, Saint-Hyacinthe, 9 décembre 1998.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1984. Analyse de sols : prélèvement d'un échantillon de sol. AGDEX 533. Conseil des productions végétales du Québec inc. 7 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1996. Compte-rendu des conférences du Colloque sur la fertilisation intégrée des sols, Conseil des productions végétales du Québec inc. 257 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1996. Grilles de référence en fertilisation. 2^e édition. AGDEX 540. Conseil des productions végétales du Québec inc., publication 02-9605. 128 p.
- ▶ **ENVIROSOL.** 1999. Détermination des besoins en azote de l'orge à partir de la teneur du sol en nitrate mesurée au moment du semis. Rapport final. Projet n° 23-04014, Entente auxiliaire Canada-Québec pour un environnement durable en agriculture, Programme d'aide à l'innovation technologique. 24 p. + annexes.
- ▶ **FILION, P., et L. ROBERT.** 1994. Les nouvelles grilles de référence en fertilisation du CPVQ : réponses aux questions les plus souvent posées. Le Céréiculteur 4 (1) (février 1994) : 6-9.
- ▶ **GIROUX, M., T.S. TRAN, M. LEMIEUX et P. AUDESSE.** 1993. Utilisation du test des nitrates du sol en vue d'une recommandation d'azote pour les céréales. Agrosol 6 (2) (décembre 1993) : 3-8.
- ▶ **GIROUX, M., T.S. TRAN, P. AUDESSE, M. LEMIEUX, R. RIVEST et J. RIOUX.** 1994. Évaluation des méthodes d'analyse de la teneur en nitrate des sols et de l'indice de la teneur en chlorophylle dans les feuilles de maïs. Agrosol 7 (1) (juillet 1994) : 66-72.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC.** 1999. Guide agroenvironnemental de fertilisation. Ministère de l'Environnement du Québec. 28 p.
- ▶ **N'DAYEGAMIYE, A., J. BOSSANYI et J. MALTAIS.** 1998. Étude de la disponibilité de l'azote minéralisable de la matière organique en conditions climatiques du Saguenay/Lac Saint-Jean. Agrosol 10 (2) : 74-78.
- ▶ **SOLTNER, D.** 1989. Les bases de la production végétale. Collection Sciences et techniques agricoles. 472 p.
- ▶ **TRAN, T.S.,** 1996. Utilisation rationnelle de l'azote en agriculture. Pages 19-48 dans Compte-rendu des conférences du Colloque sur la fertilisation intégrée des sols, Conseil des productions végétales du Québec inc.
- ▶ **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 (1) : 27-33.
- ▶ **TREMBLAY, G.** 1999. Dose optimale d'azote pour le maïs. Journées régionales Grandes Cultures Montérégie Ouest. 5 p.

RÉDACTION

Pierre Chouinard, agronome, M. Sc., ENVIROSOL, Drummondville

Daniel Massicotte, agronome, ENVIROSOL, Drummondville

COLLABORATION

Louis Robert, agronome, M. Sc., Direction régionale Chaudière-Appalaches, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Marie

RÉVISION

Pierre Beaudet, agronome, Direction de l'environnement et du développement durable, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec

Richard Beaulieu, agronome, M. Sc., ministère de l'Environnement du Québec, Québec

Jean Cantin, agronome, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec, Bureau de renseignements agricoles de Saint-Bruno

Denis Côté, agronome, M. Sc., Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Sainte-Foy

Éric Dehandschutter, Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec, Saint-Césaire

Richard Desrosiers, agronome, Direction des politiques du secteur agricole, ministère de l'Environnement du Québec, Québec

Pierre Filion, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec, Bureau de renseignements agricoles de Huntingdon

Firmin Paquet, Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec, Sainte-Florence

Gilles Tremblay, agronome, Centre de recherche sur les grains inc. (CÉROM), Saint-Bruno-de-Montarville

GESTION DE PROJET MAPAQ

Bruno Gosselin, agronome, Direction régionale de Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec

Mario Lapointe, agronome, Direction de l'environnement et du développement durable, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec

ÉDITION

Aude Tousignant, Ingénieure forestière, Sillery

SECRÉTAIRE À L'ÉDITION
Jocelyne Drolet, Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec

GESTION DU

MATÉRIEL VISUEL

Chantal Turbis, agronome, Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec

MONTAGE

Marc Brazeau, infographiste, Compélec

COORDINATION DU PROJET

Jacynthe Lareau, agronome, M. Sc., Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec

© CPVQ, 2000

Annexe 1. L'analyse de sol



Donald Lemelin, MAPAQ

L'analyse de sol informe le producteur agricole sur l'état de la fertilité de ses sols. Elle s'avère indispensable en particulier pour déterminer les apports d'engrais requis (voir les méthodes décrites antérieurement dans le présent feuillet). L'échantillonnage du sol doit être conduit avec attention et précaution si l'on veut assurer la représentativité et la fiabilité des résultats d'analyse. Les sections suivantes précisent les mesures à prendre pour y arriver⁽²⁾.

Parcelle et superficie d'échantillonnage

Lors de l'échantillonnage, la subdivision des parcelles doit se faire en fonction des critères suivants :

- une même culture ;
- un même historique (même rotation et même régie de fertilisation et de chaulage au cours des dernières années) ;
- un sol de texture et de couleur uniformes ;
- une topographie semblable ;
- un drainage uniforme ;
- l'absence de séparation physique (ex. : cours d'eau, boisé, etc.).

En général, même si la parcelle est uniforme, il est préférable de ne pas dépasser l'équivalent d'un échantillon de sol par 10 ha.

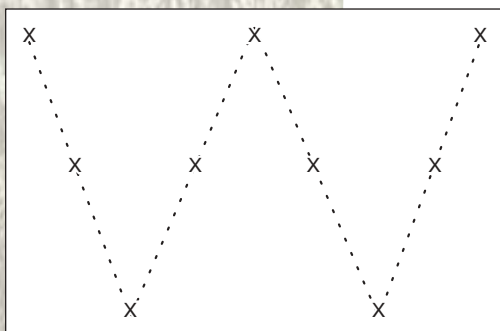
Échantillonnez séparément les zones du champ où des problèmes de croissance ont été observés et pour lesquelles on suspecte des problèmes de fertilité du sol. Il est également intéressant d'échantillonner en même temps les zones productives adjacentes pour fins de comparaison avec les zones qui le sont moins.

Quelques exemples

- 1) Champ comportant la même culture et comprenant une zone argileuse de 3 ha et une zone sableuse de 5 ha. → Prendre un échantillon distinct pour chacune des deux superficies.
- 2) Champ de 7 ha comportant la même culture mais avec deux plateaux de 2 et 5 ha séparés par une pente. → Échantillonner les deux plateaux séparément.
- 3) Champ de 8 ha comportant la même culture et séparé au milieu par une rivière. → Échantillonner séparément les deux zones de 4 ha de chaque côté du cours d'eau.

Endroits où faire les prélèvements et nombre requis

Échantillonnez toute la superficie en circulant en «W» (voir schéma). Prenez **au moins 10 à 15 prélèvements**, éloignés d'une distance similaire et répartis sur toute la superficie du champ.



Échantillonnage en «W» et réparti uniformément sur la superficie du champ

2. Les renseignements présentés ici ont pour la plupart été tirés et adaptés de CPVQ (1984) et ministère de l'Environnement du Québec (1999).

Évitez les zones suivantes :

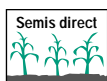
- bordure des parcelles ;
- buttes ;
- bas fonds humides ;
- levées de fossés ou de cours d'eau ;
- endroits où il y a eu des amas de chaux, de déjections animales ou de toute autre matière fertilisante ;
- abords de route où de la neige contenant des sels de calcium ou de sodium a été projetée ;
- allées de ferme.

Pour les **champs fertilisés avec des engrais en bandes**, évitez de prélever du sol vis-à-vis les bandes d'engrais.

Profondeur des prélèvements

Prélevez le sol sur

- environ **17 cm (7 po) en sol minéral** (< 30% de matière organique) ;
- environ **20 cm (8 po) en sol organique** (> 30% de matière organique).



Des profondeurs différentes peuvent être employées dans certains cas, notamment pour :

- réaliser des **tests des nitrates** (habituellement 20 à 30 cm (8 à 12 po) au Québec) ;
- vérifier s'il y a **stratification** des éléments nutritifs en semis direct et en culture sur billons ;
- évaluer la fertilité des **couches de sol plus profondes** de l'ensemble du profil cultural.

Préparation et manipulation des échantillons

Lors de l'échantillonnage, déposez tous les prélèvements dans un même seau et mélangez-les bien avec une truelle. À partir de ce **mélange homogène**, remplissez le contenant identifié (numéro de parcelle, date d'échantillonnage et autres renseignements pertinents).

Pour ne pas contaminer les échantillons et ne pas fausser les résultats :

- utilisez une sonde en acier inoxydable, un seau en plastique et des contenants propres⁽³⁾ ;
- évitez de manipuler le sol avec les mains ;
- éliminez les résidus de culture et autres débris végétaux.

Si vous ne faites pas parvenir les échantillons au laboratoire immédiatement après leur prélèvement, ouvrez les récipients dans un endroit sec afin de les assécher et d'éviter le développement de moisissures. N'exposez pas les échantillons à la poussière ou à la fumée.

Analyse des échantillons

Faites analyser les échantillons selon les **méthodes standards reconnues au Québec**. Mehlich III est la méthode standard employée au Québec pour l'analyse de la plupart nutritifs et celle retenue dans les *Grilles de référence en fertilisation* du Conseil des productions végétales du Québec inc. (CPVQ, 1996b).

3. Des exigences additionnelles peuvent être requises pour certains oligoéléments.

Période de prélèvement des échantillons

Tenez compte des **délais d'analyse** lorsque vous prévoyez utiliser les résultats pour une fertilisation ou un chaulage à réaliser prochainement.

Il est préférable d'échantillonner les sols **pendant la saison de croissance** des cultures. Pour une même parcelle, la période de prélèvement devrait rester **la même** lors de chaque échantillonnage.

À l'exception des champs fertilisés en bandes, évitez d'échantillonner les sols fertilisés **depuis moins de 1 mois**.

Mesure du pH dans les sols à la suite d'une longue période de sécheresse ou de saturation en eau

Les mesures de pH réalisées dans ces conditions ne sont pas fiables. Il est préférable d'échantillonner les sols quelques semaines après la fin de la sécheresse ou de la saturation en eau.

Fréquence de l'analyse des sols

Généralement, un échantillonnage à tous les 2 ans est souhaitable dans les **sols sableux** et à tous les 3 ans dans les **autres types de sol**. On recommande de le faire au moins à tous les 4 ans pour les **prairies**. Un échantillonnage annuel peut être réalisé dans **certains champs** de la ferme pour mieux suivre et comprendre l'influence des pratiques culturales et des conditions climatiques sur la fertilité des sols.