

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

PRAIRIES DE GRAMINÉES

ET PRAIRIES DE LÉGUMINEUSES

EN ENTRETIEN



COMITÉ DE COORDINATION

Gerardo Gollo Gil, directeur régional, Direction régionale de la Montérégie, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)

Ayitre Akpakouma, M. Sc., agronome, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, MAPAQ

Abdenour Boukhalfa, M. Sc., agronome, Direction régionale de la Montérégie, MAPAQ

Radka Valeva, agronome, Direction régionale de la Montérégie, MAPAQ

DÉTERMINATION DES VALEURS SCIENTIFIQUES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

Christine Landry, Ph. D., agronome, biologiste, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Julie Forest-Drolet, M. Sc., agronome, IRDA

Claude-Alla Joseph, Ph. D., IRDA

Mandela M. Jacques, M. Sc., IRDA

Jean-Philippe Laroche, M. Sc., agronome, Lactanet

Stéphanie Houde, M. Sc., agronome, IRDA

Simon Guillemette, M. Sc., biologiste, IRDA

Lélia Anderson, M. Sc., B. Ing., agronome, IRDA

Sébastien Rougerie, M. Sc., IRDA

Julie Mainguy, IRDA

Mylène Marchand, IRDA

Olivier Breton-Bourgault, agronome, IRDA

Mick Wu, biostatisticien, Ph. D., IRDA

ÉTABLISSEMENT DES GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

Marie Bipfubusa, Ph. D., Centre de recherche sur les grains (CÉROM)

Athyna Cambouris, Ph. D., Agriculture et Agroalimentaire Canada

Judith Nyiraneza, Ph. D., Agriculture et Agroalimentaire Canada

Éric Thibault, agronome, directeur général, PleineTerre

Joann Whalen, Ph. D., agronome, Université McGill

Marie-Élise Samson, Ph. D., agronome, Université McGill

ÉDITION

Direction des communications, MAPAQ

PHOTOGRAPHIES

MAPAQ

Ce projet a été financé dans le cadre du programme Prime-Vert du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, une entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.

 PARTENARIAT
CANADIEN pour
l'AGRICULTURE

Canada Québec 

Ce projet a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.

INTRODUCTION

Au début des années 2000, pour répondre à un besoin exprimé par les agronomes et les intervenants en production végétale, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) a entrepris une importante démarche devant conduire à la publication de grilles de référence en fertilisation. Les résultats de ces dernières seraient soutenus par des essais au champ réalisés dans les conditions spécifiques du Québec.

Depuis 2004, ce sont 21 cultures qui ont fait l'objet de plus de 500 essais au champ encadrés par l'un des quatre programmes de soutien financier suivants, mis en œuvre par le MAPAQ : le Programme de soutien à l'innovation horticole (2004-2008), le Programme de soutien aux essais de fertilisation des cultures maraîchères (2008-2012), le Programme de soutien aux essais de fertilisation (2013-2018) et le Mandat de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) pour la révision des valeurs scientifiques de référence en fertilisation (2020-2023).

Dans le contexte de ce dernier programme, outre la conduite d'essais supplémentaires au champ, l'équipe de l'IRDA devait aussi poursuivre le travail entrepris au cours de son premier mandat, soit le Plan de révision des grilles de référence en fertilisation du MAPAQ (2017-2020). Il s'agissait de réunir et de vérifier les données nécessaires au calcul des valeurs scientifiques de référence en fertilisation (VSRF). Pour plusieurs cultures, des résultats d'essais réalisés au Québec, financés et menés en dehors des programmes mentionnés plus tôt, ont pu être utilisés pour compléter et consolider le jeu de données.

Tout au long de l'établissement des VSRF, l'IRDA s'est appuyé sur une revue de la littérature pour chacune des cultures traitées et sur des échanges avec divers intervenants du milieu (agronomes et professionnels de clubs agroenvironnementaux ou du MAPAQ). L'objectif consistait à examiner tous les aspects particuliers de chaque culture et à en tenir compte dans l'interprétation des VSRF, y compris les pratiques culturelles en usage et les contraintes propres à la culture.

Lorsque l'ensemble des classes de fertilité et des VSRF pour une culture donnée est déterminé, le MAPAQ et le comité scientifique utilisent ensuite ces informations pour établir les nouvelles grilles de référence en fertilisation du Québec. Le détail de la démarche effectuée et les résultats du calcul des VSRF sont ainsi présentés au comité scientifique qui peut, s'il le juge à propos, ajuster certaines de ces valeurs selon des fondements scientifiques autres que le jeu des données fourni ainsi que sur la base de son jugement agronomique. Une fois les recommandations considérées

comme définitives, le MAPAQ les regroupe et les publie sous la forme de « grilles de référence en fertilisation ». Le fascicule de l'IRDA, qui contient plus de détails sur le jeu de données et l'ensemble des analyses, est également publié et peut être consulté. Les tableaux des VSRF qui s'y trouvent ne sont ainsi pas toujours identiques à ceux produits par le comité scientifique.

Ces nouvelles grilles constituent des outils de référence d'une qualité exceptionnelle pour les agronomes et leurs clients concernant toutes les cultures visées, et particulièrement pour celles, nombreuses, qui n'avaient jamais fait l'objet d'essais au champ au Québec.

Finalement, il y a lieu de rappeler que les tableaux qui suivent ne représentent que des modèles de référence. Bien qu'ils soient d'une grande rigueur scientifique, ils constituent essentiellement des points de repère et ne se substituent pas au jugement professionnel de l'agronome, qui demeure l'ultime responsable de la recommandation. De nombreux facteurs, notamment ceux qui sont définis par les conditions particulières du champ (ex. : l'état de santé du sol), doivent aussi être pris en considération. L'expérience professionnelle de l'agronome, de même que ses autres sources de référence, pourra aussi justifier une modification de la recommandation ou l'introduction de nuances lorsqu'il le juge nécessaire.

Cette publication détaille les recommandations pour les prairies de graminées et les prairies de légumineuses en entretien. Tous les essais qui ont alimenté la base de données ont été réalisés dans des conditions de production commerciale, dans des champs où les parcelles étaient soumises exactement aux mêmes parcours de production, mis à part la fertilisation. Les traitements de fertilisation ont aussi imité, dans la mesure du possible, les périodes, les méthodes et les sources d'engrais communément utilisées dans la production des prairies. Lors du traitement des données, la première étape visait à établir la validité (ex. : coefficient de variation, problème au champ et erreur de traitement ou de mesure) et la représentativité des données (ou des sites) (ex. : texture, proportion de sols qualifiés de très pauvres à très riches pour l'élément visé et répartition géographique). Les données non valides ont été retirées du jeu de données. Bien que cela soit relativement rare, certaines plages de valeurs de sol ou de catégories de sol sont parfois laissées sans VSRF et à déterminer par le comité scientifique. À plusieurs reprises, l'ajout de données provenant d'essais externes a permis d'améliorer la représentativité ou la robustesse du jeu de données.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie servant à déterminer les classes de fertilité et le calcul des VSRF est similaire pour toutes les cultures analysées. À l'aide du test de partition de Cate-Nelson, les indicateurs de fertilité (ex. : [nitrate, phosphore (P), potassium (K)]_{sol}, saturation en phosphore [ISP₁], matière organique) sont mis en relation avec le rendement relatif (le rendement du témoin sans engrais divisé par le rendement maximal du bloc) pour déterminer des seuils agronomiques de réponse ou de non-réponse. Lorsque cela est possible, les seuils sont propres aux groupes de texture G1 (sol à texture fine), G2 (sol à texture moyenne) et G3 (sol à texture grossière). Les meilleurs indicateurs permettant de prédire avec précision la réponse à la fertilisation sont retenus pour créer les classes de fertilité.

Les seuils agronomiques de réponse délimitent ces classes. À l'intérieur des classes de fertilité, des analyses de variance sont réalisées dans le but d'analyser la réponse de la culture aux doses croissantes d'azote (N), de P et de K. Pour éviter les biais causés par les grandes variations qui pourraient être observées entre les rendements des grandes surfaces dans un contexte de production et ceux des parcelles de recherche, l'effet des doses croissantes de fertilisant est étudié en tenant compte du rapport de rendement (rendement fertilisé/rendement témoin). La plus petite dose associée au meilleur rendement constitue la VSRF. Le comité scientifique a alors la possibilité, s'il le juge à propos, d'adapter certaines VSRF selon le

jugement agronomique ou des bases scientifiques autres que le jeu de données. Par exemple, lorsque le test de partition ne permet pas de créer des classes distinctes sur une très large plage de valeurs de contenu en éléments du sol, cette plage peut être scindée. Dans le cas des catégories de sols les plus pauvres, la dose proposée peut être plus élevée que la plus petite dose testée, de façon à maintenir un niveau suffisant pour l'élément visé. Une fois les VSRF considérées comme définitives, elles sont rassemblées et publiées sous la forme de grilles de référence en fertilisation.

L'ensemble du travail effectué à l'IRDA à l'aide des données disponibles, des données du MAPAQ ou des données externes a généré une quantité impressionnante d'information utile à court, à moyen et à long terme. Toutes les données colligées et vérifiées ont été structurées dans une base de données que les scientifiques, les conseillers et les producteurs pourront consulter. Outre les grilles de référence, cette publication rapporte les concentrations d'éléments nutritifs majeurs (N, pentoxyde de phosphore [P₂O₅] et oxyde de potassium [K₂O]) dans les tissus végétaux ainsi que les quantités exportées dans les récoltes. La teneur en nitrate résiduel du sol en post-récolte est aussi indiquée pour deux couches de sol, soit de 0 à 30 cm et de 30 à 60 cm, à titre de considération environnementale. Toutefois, en aucun cas les recommandations des grilles qui suivent n'ont été modifiées en fonction des quantités résiduelles de nitrate.



PRAIRIES DE GRAMINÉES ET PRAIRIES DE LÉGUMINEUSES EN ENTRETIEN

Les pages suivantes présentent les grilles de référence en fertilisation pour des prairies de graminées et des prairies de légumineuses en entretien. Ces dernières ont été établies à l'aide des résultats de 154 essais au champ réalisés par le MAPAQ dans le cadre du Programme de soutien aux essais de fertilisation (2013-2018) et des essais réalisés par les équipes de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) (1994, 1999, 2010, 2016, 2017, 2018).

TABLEAU 1 NOMBRE DE SITES SELON LA SOURCE DES DONNÉES D'ESSAIS AU CHAMP POUR LES PRAIRIES DE GRAMINÉES ET DE LÉGUMINEUSES

SOURCE DES DONNÉES	ANNÉES	AZOTE	PHOSPHORE	POTASSE	SOUFRE
PSEF	2013-2018	34	34	30	34
Essais supplémentaires ¹	1994-2018	12	6	4	-
TOTAUX		46	40	34	34

1. Essais supplémentaires d'AAC au Québec.

EXPORTATIONS DE N, DE P₂O₅ ET DE K₂O

Le travail de l'IRDA a permis de déterminer les premières valeurs propres au Québec quant aux teneurs des récoltes en éléments majeurs et aux exportations de ces éléments. De plus, la méthode de calcul utilisée donne des valeurs fiables et précises. Le taux d'humidité, la concentration en éléments nutritifs dans les tissus et les exportations de N, de P₂O₅ et de K₂O ont été calculés à l'aide d'un sous-ensemble d'individus appelé « population de tête ». Cette population regroupe les individus ayant présenté des rendements élevés et des concentrations équilibrées parmi les éléments nutritifs qui composent les tissus. Le calcul prend exclusivement en compte la biomasse qui quitte le champ lors de la récolte (grains et paille, s'il y a lieu). Pour cette raison, il est question d'exportations plutôt que de prélèvements.

Le lien de cause à effet entre les quantités d'éléments prélevés ou exportés (ou le rendement visé ou réel) et les besoins des cultures en éléments nutritifs n'est pas systématique. Il ne faut donc pas utiliser ces informations pour déterminer les doses d'engrais à recommander.

NITRATE RÉSIDUEL À LA RÉCOLTE

L'effet de la fertilisation sur le nitrate résiduel (couches de sol de 0 à 30 cm et de 30 à 60 cm) a fait l'objet d'une analyse pour évaluer les risques de perte d'azote dans l'environnement. À cette fin, c'est l'indice de nitrate qui a été utilisé pour déterminer si l'augmentation de nitrate résiduel était notable en présence d'engrais azoté.

Aux deux profondeurs étudiées, la teneur en nitrate (N-NO₃) pour les applications de 150 kg N/ha et plus a contribué à la hausse des teneurs en nitrate de 86 à 150 %. Malgré ces augmentations, les concentrations mesurées restent très faibles, avec des teneurs moyennes de 2,6 ppm suivant la plus forte dose (200-225 kg N/ha).

$$\text{INDICE DE NITRATE} = \frac{[\text{N-NO}_3] \text{ DE LA PARCELLE FERTILISÉE (PPM)}}{[\text{N-NO}_3] \text{ DU TÉMOIN (PPM)}}$$

Ces résultats confirment que les graminées sont d'excellents pièges à nitrate. L'analyse du nitrate ne doit donc pas être interprétée comme l'analyse effectuée après une culture en rangée qui laisse le sol à nu et sans prélèvement pendant plusieurs semaines avant les gels automnaux.

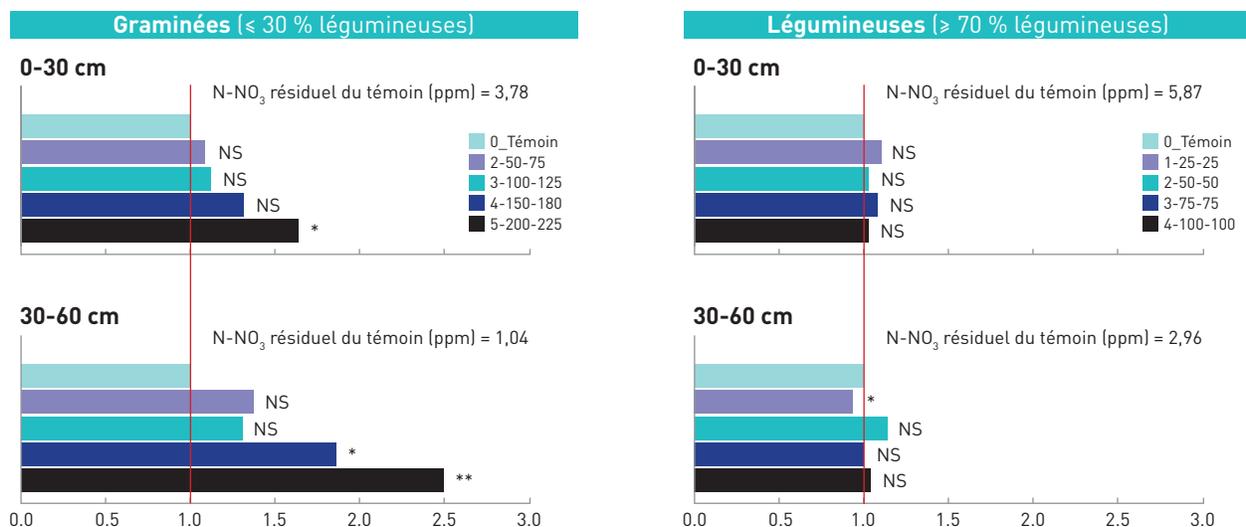


FIGURE 1 INDICES DE NITRATE DANS LES PRAIRIES DE GRAMINÉES ET DE LÉGUMINEUSES AUX PROFONDEURS DE 0 À 30 CM ET DE 30 À 60 CM, APRÈS LA DERNIÈRE RÉCOLTE.

La statistique présentée à droite des barres horizontales indique si le traitement est différent du témoin 0 N.

NS : non significatif; t : tendance à $P < 0,12$; * P : entre 0,05 et 0,01; ** P : entre 0,01 et 0,001; *** P : $< 0,001$

DEGRÉS-JOURS

La recherche d'un indicateur des conditions climatiques pouvant être corrélé au potentiel de rendement et à la réponse aux engrais azotés a permis d'identifier les degrés-jours à base 0 (DJ_0) comme étant l'indicateur le plus représentatif et le plus performant. Ainsi, trois grandes zones climatiques ont été identifiées en fonction de la réponse à l'azote (figure 2). Cette représentation a permis de considérer les différences de potentiel de rendements et de réponse, lesquels étaient généralement plus élevés dans les régions centrales-sud du Québec (zone rouge $> 2850 DJ_0$) que dans les régions périphériques (zone violette $< 2450 DJ_0$), en accord avec les rendements de références de La Financière agricole du Québec (2021).

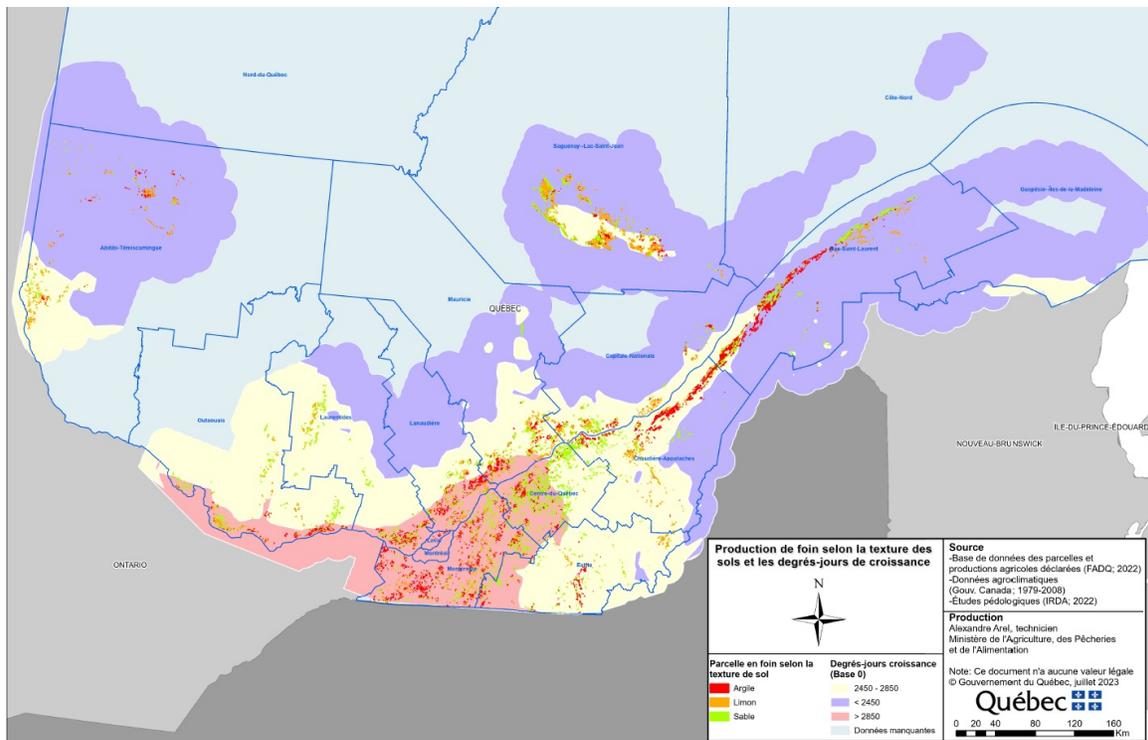


FIGURE 2 PRODUCTION DE FOIN SELON LA TEXTURE DES SOLS ET LES DEGRÉS-JOURS PAR RÉGION

L'outil Info-Sols vous permet de localiser des champs en fonction des aires climatiques. Visitez le <https://www.info-sols.ca/> pour essayer l'outil.

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION PRAIRIES DE GRAMINÉES ET PRAIRIES DE LÉGUMINEUSES EN ENTRETIEN

AZOTE					
Proportion des légumineuses (%)	Période d'application	Fractionnement ⁽¹⁾ (% de la dose totale)	Dose totale (kg N/ha)		
			Zone périphérique DJ ₀ < 2450 ⁽²⁾	Zone intermédiaire DJ ₀ 2450-2850 ⁽²⁾	Zone centrale-sud DJ ₀ > 2850 ⁽²⁾
Graminées (≤ 30 % de légumineuses)					
0 – 10	Au printemps et après les coupes	2 apports : 60-40 %	180 ⁽³⁾	210 ⁽³⁾	220 ⁽³⁾
11 – 30		3 apports : 40-30-30 %	140	190 ⁽³⁾	210 ⁽³⁾
Mixtes (31-69 % de légumineuses)					
31 – 50	Au printemps et après les coupes	1 apport : 100 %	110	140	170 ⁽³⁾
51 – 69		2 apports : 60-40 % 3 apports : 40-30-30 %	20-50 ⁽⁴⁾	20-100 ⁽⁴⁾	50-120 ⁽⁴⁾
Légumineuses (> 70 % de légumineuses)					
70 – 89	Au printemps	1 apport : 100 %	0-20 ⁽⁴⁾	0-20 ⁽⁴⁾	0-50 ⁽⁴⁾
90 – 100			0 ⁽⁴⁾	0 ⁽⁴⁾	0 ⁽⁴⁾

DJ₀ : degrés-jours en base 0 °C

(1) Les fractionnements proposés dans ce tableau tiennent compte de la pratique habituellement recommandée sur le terrain.

(2) Se référer à la figure 2 (carte des zones climatiques selon les DJ₀).

(3) Les doses de 150 kg N/ha et plus doivent être fractionnées en deux ou trois apports (au printemps et après les coupes) afin d'éviter les risques de toxicité au nitrate et de favoriser un meilleur synchronisme avec les besoins de la plante.

(4) Considérer l'historique du champ et le potentiel de fixation symbiotique des légumineuses.

CONSIDÉRATION DU CONTEXTE ET DU MODE DE GESTION DES PRAIRIES

Les grilles proposées ont été calculées à partir d'essais dont les espèces dominantes sont la fléole des prés dans les prairies de graminées et la luzerne dans les prairies de légumineuses. Les grilles s'appliquent aux producteurs agricoles qui ont une gestion intensive des prairies et où des rendements conséquents sont prévus (> 8,3 t/ha pour les prairies de graminées; > 11,1 t/ha pour les prairies de légumineuses). Il est conseillé de diminuer les doses selon la nature de la prairie (permanente, temporaire, en présence de légumineuses, espèces présentes), son utilisation et son niveau d'intensification (nombre de coupes, rendements).

UTILISATION DES COEFFICIENTS D'EFFICACITÉ DES ENGRAIS

Les engrais utilisés lors des essais étaient sous forme minérale avec un coefficient d'efficacité considéré par défaut à 100 %. Dans le cas où les engrais seraient apportés sous une forme organique, il revient à l'agronome d'utiliser les bons coefficients d'efficacité et les bons facteurs de perte et d'informer le producteur agricole sur les bonnes pratiques d'épandage afin d'éviter tout apport excessif et de minimiser les pertes.

RISQUES DE TOXICITÉ AU NITRATE DANS LES FOURRAGES

Afin de réduire les risques de toxicité au nitrate, il est important de fractionner les doses recommandées de plus de 150 kg N/ha en deux ou trois apports, et de les appliquer au printemps et après les coupes. De plus, le jugement de l'agronome est primordial afin de rectifier la recommandation en cours de saison au besoin, par exemple dans le cas où des facteurs de stress freinent la croissance de la culture. En procédant de la sorte, les risques de toxicité au nitrate dans le fourrage demeurent très faibles, voire inexistantes.

PHOSPHORE				
Type de prairies	Groupe de texture ⁽¹⁾	Classe de fertilité ISP ₁ (%) ⁽²⁾	Période d'application	Dose totale (kg P ₂ O ₅ /ha)
Graminées (≤ 30 % de légumineuses)	G1	≤ 4,8	À la volée au printemps	70
		4,8 - 7,6		35
		7,7 - 9,6		0-25
		> 9,6		0 ⁽³⁾
	G2-G3	≤ 4,8	À la volée au printemps	70
		4,8 - 9,6		35
		9,7 - 13,1		25
		> 13,1		0 ⁽³⁾
Légumineuses (≥ 70 % de légumineuses)	G1	≤ 5,3	À la volée au printemps	100
		5,4 - 7,6		50
		7,7 - 10,5		0-25 ⁽³⁾
		> 10,5		0 ⁽³⁾
	G2-G3	≤ 5,3	À la volée au printemps	100
		5,4 - 10,5		50
		10,6 - 13,1		25
		> 13,1		0 ⁽³⁾

(1) G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.

(2) ISP₁ : indice de saturation en phosphore [P (mg/kg)/Al (mg/kg)] X 100. P et Al extraits par Mehlich-3 et dosés par spectroscopie d'émission au plasma.

(3) Proposition d'un apport nul, considérant l'absence probable de gain par la fertilisation dans cette catégorie de sols saturés en phosphore.

POTASSIUM					
Type de prairies	Groupes de textures du sol ⁽¹⁾	Classe de fertilité K Mehlich-3 (ppm)	Période d'application ⁽²⁾	Fractionnement (kg K ₂ O/ha) ⁽²⁾	Dose totale (kg K ₂ O/ha)
Graminées ⁽⁴⁾ (≤ 30 % de légumineuses)	G1, G2, G3	< 50	Au printemps	100	200
			Après la 1 ^{re} coupe	100	
		Au printemps	50 - 100	-	120
			100 - 200		25-60
			> 200		0 ⁽³⁾
Légumineuses (≥ 70 % de légumineuses)	G1, G2, G3	< 43	Au printemps	150	300
			Après la 1 ^{re} coupe	150	
		43 - 84	Au printemps	100	200
			Après la 1 ^{re} coupe	100	
		Au printemps	84 - 168	-	110
			168 - 335		0-50
			> 335		0 ⁽³⁾

(1) G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.

(2) Les périodes de fractionnement sont proposées telles qu'elles ont été testées, c'est-à-dire 50-50 % au printemps et après la 1^{re} coupe lorsque la dose était supérieure à 150 kg K₂O/ha. Cependant, pour les prairies de légumineuses (≥ 70 % de légumineuses), il est recommandé de faire une application après l'avant-dernière coupe, ou 500 degrés-jours (base de 5 °C) avant le dernier gel.

(3) Dose nulle proposée considérant l'absence de réponse et la richesse du sol en K_{M3}.

(4) En ce qui a trait aux graminées destinées à l'alimentation des vaches en période de transition, il faut utiliser une dose inférieure ou égale à 110 kg K₂O/ha dans les sols de moins de 67 ppm de K_{M3} afin de réduire les risques d'hypocalcémie. Cela permettrait d'éviter tout risque de dépasser la teneur limite en K de la biomasse de 2,3 % de matière sèche. Dans les sols qui ont 67 ppm ou plus de K_{M3}, la limite de 2,3 % est atteinte sans apport de K. Ainsi, aucun apport n'est recommandé dans cette situation et il est souhaitable d'utiliser un champ plus pauvre en K pour produire un fourrage destiné aux vaches en transition. Au moment d'élaborer le programme alimentaire de ces dernières, il est essentiel de tenir compte de la différence alimentaire cations-anions réelle du fourrage obtenu.

SOUFRE

L'application de 25 kg/ha de soufre a un effet positif sur la teneur en soufre des mélanges de légumineuses carencées. Dans les prairies à base de légumineuses, l'application de soufre a permis d'augmenter significativement la teneur en protéines brutes.

*Agriculture, Pêcheries
et Alimentation*

Québec 