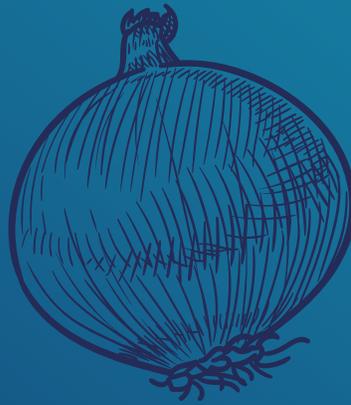


GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

OIGNON VERT, OIGNON SEC

ET RADIS EN SOL ORGANIQUE



COMITÉ DE COORDINATION

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

Caroline Bélanger, agronome, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, MAPAQ

Abdenour Boukhalifa, 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)

Mandela M. Jacques, M. Sc., IRDA

Julie Forest-Drolet, M. Sc., IRDA

Simon Guillemette, M. Sc., biologiste, IRDA

Stéphanie Houde, M. Sc., agronome, IRDA

Claude-Alla Joseph, Ph. D., IRDA

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

Aurélié Demers, B. Sc., agronome, IRDA

Julie Mainguy, B. Sc., agronome, IRDA

Mylène Marchand, M. Sc., agronome, IRDA

Olivier Breton-Bourgault, IRDA

Gabrielle Chevrier, 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, Groupe PleineTerre

ÉDITION

Direction des communications, 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 et de la Lutte contre les changements climatiques 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 culturales 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 présente en détail les recommandations concernant l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) pour l'oignon vert et le radis ainsi que le potassium (K) pour l'oignon sec en sol organique. Tous les essais sur le terrain qui ont permis d'alimenter la base de données ont été réalisés dans des conditions de production commerciale, et ce, dans des champs où les parcelles étaient soumises exactement aux mêmes parcours de production, mis à part la fertilisation. 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 ayant servi à déterminer les classes de fertilité et le calcul des VSRF est la même pour toutes les cultures analysées. À l'aide du test de partition de Cate-Nelson, les indicateurs de fertilité (ex. : [nitrate, P, K]_{sol}, indice de saturation en phosphore [ISP₃], 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. Les analyses physico-chimiques (0-30 cm) ont été effectuées au sol de même que la mesure des éléments nutritifs (P, K, Ca, Mg, Al, Mn, Cu, Zn, B et Fe), la teneur de la matière organique et les contenus totaux en C et en N.

Les seuils agronomiques de réponse ont permis de délimiter des classes de fertilité. À l'intérieur de celles-ci, des analyses de variance ont été réalisées dans le but d'évaluer la réponse de la culture aux doses croissantes d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K). Le niveau de nitrate au sol a été utilisé pour déterminer la classe de fertilité d'azote pour l'oignon vert. Les périodes de semis antérieures et postérieures au 1^{er} juin ont été prises en compte pour les fertilisations azotées et potassiques de radis. L'indice de saturation en phosphore (ISP₃) a permis d'établir des classes de fertilité en ce qui a trait au phosphore. Enfin, le niveau de potassium Mehlich-3 au sol a servi à établir la grille de fertilisation pour le potassium.

Pour éviter les biais causés par les grandes variations dans un contexte de production et ceux des parcelles de recherche, l'effet des doses croissantes de fertilisant a été étudié en tenant compte du rapport de rendement (rendement fertilisé/rendement témoin). La plus petite dose associée au meilleur rendement constitue la VSRF.

L'ensemble du travail effectué à l'IRDA à l'aide des données disponibles, de celles 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 présente 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 lors de la post-récolte est aussi indiquée pour deux couches de sol (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.

L'OIGNON VERT, L'OIGNON SEC ET LE RADIS EN SOL ORGANIQUE

Les pages suivantes présentent les grilles de référence en fertilisation pour l'oignon vert, l'oignon sec et le radis. Ces grilles ont été établies à l'aide des résultats de 158 essais au champ (65 pour l'oignon vert, 25 pour le potassium dans l'oignon sec et 68 pour le radis en sol organique) réalisés dans le cadre du Programme de soutien aux essais de fertilisation des cultures maraîchères (2008-2012) du MAPAQ et du mandat de l'IRDA pour la révision des valeurs scientifiques de référence en fertilisation (MIRVSRF, 2020-2023).

L'utilisation de facteurs tels que le rendement par parcelle, la variété culturale, les cultures précédentes et la date de semis représente une approche complète permettant d'évaluer la réponse des plantes par rapport aux éléments testés. La détermination des classes de fertilité des sols a été effectuée en se basant sur la partition binaire de Cate-Nelson. Ce test de partition consiste à mettre en relation le rendement relatif de la culture (RRel, %) et l'indicateur de prédiction de la fertilité du sol.

L'OIGNON VERT ET LE RADIS EN SOL ORGANIQUE

Avant la production de ces grilles, aucune recommandation n'existait au Québec pour l'oignon vert en sol organique. En fait, peu de recommandations ont été formulées quant à la production de ce légume et la plupart de celles qui ont été émises ne distinguent pas les sols organiques des sols minéraux. La teneur en nitrate (N-NO_3) du sol au moment du semis s'est révélée un bon indicateur de fertilité et a permis de moduler les recommandations en ce qui concerne l'azote.

Pour ce qui est du radis, le premier facteur qui a influencé la réponse à l'azote est la période de semis (avant ou à partir du 1^{er} juin). Il est à noter que le cycle de production de cette culture est très court (26 jours en moyenne entre le semis et la récolte).

L'indice de saturation en phosphore (ISP_3), reconnu comme un meilleur indicateur agroenvironnemental de la biodisponibilité du phosphore, a été utilisé pour déterminer les doses de phosphate recommandées pour l'oignon vert et le radis.

La teneur en potassium (K_{M3}) du sol est établie comme un indicateur de fertilité. Le potassium est désormais exprimé en parties par million (ppm) plutôt qu'en kilogrammes par hectare (kg/ha). Cette unité était d'ailleurs déjà utilisée par les laboratoires pour l'analyse de cet élément. Ces derniers la convertissaient en kilogrammes par hectare en multipliant les ppm par 2,24. Ce coefficient arbitraire entraîne toutefois une imprécision, car il repose sur une masse volumique apparente très variable d'un sol à l'autre. Désormais, les laboratoires doivent présenter les résultats du potassium en ppm.

Enfin, les périodes de semis du radis (avant ou à partir du 1^{er} juin) ont été un important indicateur permettant de distinguer les différentes classes de fertilité des sols. Ceux-ci étaient divisés en trois classes selon le niveau de K_{M3} .

L'OIGNON SEC EN SOL ORGANIQUE

Plusieurs facteurs peuvent influencer la biodisponibilité du potassium dans le sol et, par conséquent, agir sur la réponse de la culture aux apports d'engrais potassique. Le calibre des oignons secs, les pertes et la qualité lors de la récolte ont été analysés ainsi que les pertes au moment de l'entreposage. Cette analyse a révélé que ces trois paramètres ont été peu affectés par les différentes doses de K_2O apportées. De manière générale, les doses suggérées sont similaires ou inférieures aux recommandations faites ailleurs au Canada et dans le nord-est des États-Unis.

LE NITRATE RÉSIDUEL AU MOMENT DE LA RÉCOLTE

Pour l'oignon vert et le radis, 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 permettant d'évaluer les risques de perte d'azote dans l'environnement. À cette fin, l'indice de nitrate a été utilisé pour déterminer si l'augmentation du nitrate résiduel était notable en présence d'engrais azoté.

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

Il a été constaté que les teneurs en N-NO₃ avaient fortement augmenté, tant en surface (0-30 cm) qu'en profondeur (30-60 cm), dès l'application de doses de 60 kg N/ha.

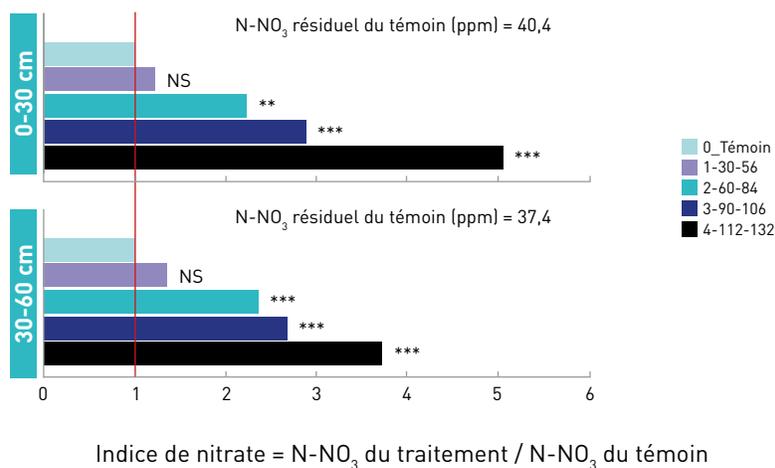


FIGURE 1 INDICES DE NITRATE OBSERVÉS À LA SUITE DES TRAITEMENTS AZOTÉS EFFECTUÉS POUR L'OIGNON VERT AUX PROFONDEURS DE 0 À 30 CM ET DE 30 À 60 CM, DANS LES SOLS ORGANIQUES, AU MOMENT DE LA RÉCOLTE

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

NS : non significatif

** : P entre 0,01 et 0,001

*** : P < 0,001

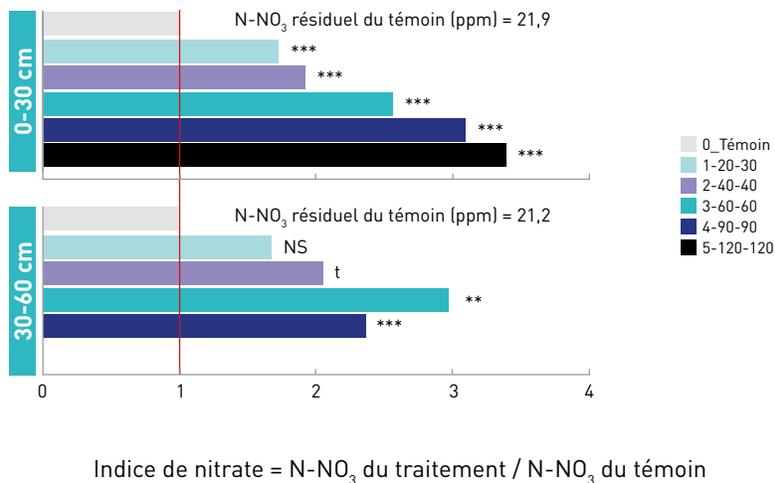


FIGURE 2 INDICES DE NITRATE OBSERVÉS À LA SUITE DES TRAITEMENTS AZOTÉS EFFECTUÉS POUR LE RADIS AUX PROFONDEURS DE 0 À 30 CM ET DE 30 À 60 CM, DANS LES SOLS ORGANIQUES, AU MOMENT DE LA RÉCOLTE

NS : non significatif

t : tendance à $P < 0,12$

** : P entre 0,01 et 0,001

*** : $P < 0,001$

Ces résultats montrent que, malgré la réponse importante de la culture aux apports d'engrais azoté, une partie de l'engrais azoté demeure non prélevée et risque d'être perdue par lessivage.

L'implantation d'un second cycle de culture (ex. : radis) ou d'une culture de couverture est encouragée. Enfin, il est recommandé de fractionner la dose totale en plusieurs apports.

FERTILISATION AZOTÉE DE L'OIGNON VERT EN SOL ORGANIQUE

AZOTE			
Classe de fertilité N-NO ₃ au semis (ppm) ¹	Période d'application ²	Fractionnement ³ (kg N/ha)	Dose totale (kg N/ha) ⁴
<27	Au semis	90	120 ⁵
	Au stade de 30 jours après le semis	30	
27-55	Au semis	60	90 ⁶
	Au stade de 30 jours après le semis	30	
56-110	Au semis	60	60 ⁶
	Au stade de 30 jours après le semis	0	
>110	Au semis	-	30 ⁷

Note : Dans le cas où la teneur en nitrate du sol au semis (N-NO₃) ne peut pas être évaluée au semis par la méthode proposée, la dose totale recommandée varie de 60 à 90 kg N/ha.

1. Le N-NO₃ a été dosé au KCl 2M en laboratoire pour la profondeur de 0 à 30 cm.
2. Les périodes d'application sont suggérées telles qu'elles ont été testées.
3. Dans le cas où un producteur souhaite doser le N-NO₃ au printemps par la méthode de laboratoire, il est suggéré d'appliquer 60 kg N au semis puis d'ajuster la dose au moment du fractionnement.
4. Les recommandations ont été établies en totalité sur la base de données ayant une MOPAF de plus de 70 %.
5. Dans cette classe de fertilité la plus pauvre : dose supérieure à la dose de 90 N qui permet de réduire les pertes et de couvrir la majorité des exportations.
6. Dose agronomique optimale dans cette catégorie de sol.
7. Correspond à la plus petite dose testée.

FERTILISATION PHOSPHATÉE DE L'OIGNON VERT EN SOL ORGANIQUE

PHOSPHORE		
Classe de fertilité ISP ₃ [%] ¹	Période d'application	(kg P ₂ O ₅ /ha)
≤5,0	Au semis	40 ²
5,1-10,0		30 ³
10,1-15,0		0-30 ⁴
>15,0		0 ⁵

1. ISP₃ : Indice de saturation du sol en phosphore : $[(P/31)/(Al/27 + 5 \times Fe/56)]$, éléments extraits selon la méthode Mehlich 3 (Mehlich, 1984) utilisant la masse de sol d'une cuillère de 3 cc.
2. En l'absence de données dans cette catégorie de sol la plus pauvre : dose permettant de couvrir la majorité de la moyenne des exportations de la population de tête.
3. En l'absence d'une différence entre les traitements, la dose médiane du plus petit groupe de doses testées est recommandée.
4. En l'absence d'une différence entre les traitements, l'intervalle entre une dose nulle et la dose médiane du plus petit groupe de doses testées est recommandé. L'historique doit être considéré.
5. En l'absence de gains de rendement et compte tenu de l'ISP élevé, une dose nulle est recommandée pour cette catégorie de sol.

FERTILISATION POTASSIQUE DE L'OIGNON VERT EN SOL ORGANIQUE

POTASSIUM			
Classe de fertilité K Mehlich-3 (ppm) ¹	Période d'application	Fractionnement ² (kg K ₂ O/ha)	Dose totale (kg K ₂ O/ha)
<130	Au semis	90	160 ³
	30 jours après le semis	70	
130-256	Au semis	70	100 ⁴
	30 jours après le semis	30	
257-384	Au semis	-	40 ⁵
>384	-	-	0 ⁶

1. Les ppm sont utilisées afin d'éviter un biais quant à la masse volumique du sol. Pour convertir les valeurs de ppm en kilogrammes par hectare pour un sol organique, appliquer le facteur de conversion de 0,84 (ppm x 0,84 = kg/ha en sol organique).
2. Les périodes d'application et les fractionnements sont proposés tels qu'ils ont été testés.
3. En l'absence de données pour cette catégorie de sol la plus pauvre : dose permettant de couvrir la majorité de la moyenne des exportations de la population de tête.
4. En l'absence d'une différence entre les traitements : dose permettant d'obtenir le meilleur gain de rendement.
5. En l'absence d'une différence entre les traitements, la dose médiane du plus petit groupe de doses testées est recommandée.
6. Dose nulle proposée compte tenu de l'absence de réponse et de la richesse du sol en K_{M3}.

FERTILISATION POTASSIQUE DE L'OIGNON SEC EN SOL ORGANIQUE

POTASSIUM			
Classe de fertilité K_{M_3} (ppm) ¹	Période d'application	Fractionnement	Dose totale (kg K_2O /ha)
<141	Au semis	90	180 ²
	Stade de 15 cm (30-40 jours après le semis)	90	
141-236	Au semis	50	80 ³
	Stade de 15 cm (30-40 jours après le semis)	30	
237-472	Au semis	-	40 ³
>472	-	-	0 ^{3,4}

1. K_{M_3} : K extrait par la méthode Mehlich-3 (Mehlich, 1984) utilisant la masse de sol d'une cuillère pesée de 3 cc.
2. Aucune observation sous le seuil de 141 ppm de K_{M_3} ; la dose suggérée correspond aux exportations.
3. Les valeurs recommandées de 80, de 40 et de 0 kg K_2O /ha correspondent aux plus petites doses testées étant donné l'absence de réponse.
4. La valeur minimale recommandée de 0 kg K_2O /ha est mentionnée pour indiquer aux producteurs qu'ils peuvent, sans risque pour les rendements, couper la dose d'apport pour abaisser la teneur en potassium du sol.

FERTILISATION AZOTÉE DU RADIS EN SOL ORGANIQUE

AZOTE			
Période de semis	Classe de fertilité N total ¹ (%)	Période d'application	(kg N/ha)
Semis hâtif (avant le 1 ^{er} juin)	≤1,66	Au semis	30-60 ²
	>1,66		30 ²
Semis tardif (à partir du 1 ^{er} juin)	≤1,43	Au semis	40 ²
	>1,43		30 ²

1. Le nitrate au semis a été déterminé par la méthode du KCl 2M et dosé par colorimétrie.
2. Doses recommandées selon la classe de fertilité des sols et la période des semis pour un premier semis.

FERTILISATION PHOSPHATÉE DU RADIS EN SOL ORGANIQUE

PHOSPHORE		
Classe de fertilité ISP ₃ (%) ¹	Période d'application	(kg P ₂ O ₅ /ha)
≤5,0	Au semis	30 ²
5,1-15,0		0-30 ²
>15,0		0 ²

1. ISP₃ : Indice de saturation du sol en phosphore : $(PM3/31)/((AIM3/27 + 5 \times FeM3/56)) \times 100 \%$, éléments extraits selon la méthode Mehlich 3 (Mehlich, 1984).
2. Doses recommandées selon la classe de fertilité des sols pour un premier semis.

FERTILISATION POTASSIQUE DU RADIS EN SOL ORGANIQUE

POTASSIUM			
Période de semis	Classe de fertilité K Mehlich-3 ¹ (ppm)	Période d'application	(kg K ₂ O/ha)
Semis hâtif (avant le 1 ^{er} juin)	≤200	Au semis	60 ³
	201-400		30 ³
	>400		0 ²
Semis tardif (à partir du 1 ^{er} juin)	≤66	Au semis	60 ³
	67-400		30 ³
	>400		0 ²

1. Les ppm sont utilisées afin d'éviter un biais quant à la masse volumique du sol. Pour convertir les valeurs de ppm en kilogrammes par hectare pour un sol organique, on doit appliquer le facteur de conversion de 0,84 (ppm x 0,84 = kg/ha en sol organique).
2. Dose nulle proposée compte tenu de l'absence de réponse et de la richesse du sol en K_{M3}.
3. Doses recommandées selon la classe de fertilité des sols pour un premier semis.

*Agriculture, Pêcheries
et Alimentation*

Québec 