



GRILLES DE RÉFÉRENCE

EN FERTILISATION

COMITÉ DE COORDINATION

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

Ann-Gabrielle Jutras, agronome, MAPAQ

Louis Robert, M. Sc., agronome, MAPAQ

DÉTERMINATION DES VALEURS SCIENTIFIQUES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

Christine Landry, Ph. D., agronome, biologiste

Claude-Alla Joseph, Ph. D.

Stéphanie Houde, M. Sc., agronome

Julie Forest-Drolet, M. Sc., agronome

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

Olivier Breton-Bourgault, agronome

Simon Guillemette, M. Sc.

Anne-Mary Le Guennec

Michèle Grenier, M. Sc.

Anaïs Charles, Ph. D., agronome

Mélissa Paradis, M. Sc., biologiste

Julie Desautels, M. Sc.

Alexandre Leblanc, M. Sc., biologiste

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

Anne Vanasse, Ph. D., agronome, Université Laval

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

Ce projet a été financé par l'entremise du volet 1 du programme Prime-Vert, mis en œuvre en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, selon 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) entreprenait une importante démarche devant conduire à la publication de grilles de référence en fertilisation, dont les résultats seraient soutenus par des essais au champ réalisés dans les conditions propres 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* (PSIH, 2004-2008), le *Programme de soutien aux essais de fertilisation des cultures maraîchères* (PSEFCM, 2008-2012), le *Programme de soutien aux essais de fertilisation* (PSEF, 2013-2018) et le *Mandat de l'IRDA pour la révision des valeurs scientifiques de référence en fertilisation* (MIRVRF, 2020-2023).

Dans le contexte de ce dernier programme, outre la conduite d'essais supplémentaires au champ, l'équipe de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) devait aussi poursuivre le travail entrepris lors de son premier mandat, soit le Plan de révision des grilles de référence en fertilisation du MAPAQ (2017-2020), c'est-à-dire réunir et valider les données nécessaires au calcul des valeurs scientifiques de référence en fertilisation (VSRF). Pour plusieurs cultures, des résultats d'essais québécois, menés en dehors des programmes mentionnés plus tôt, ont pu être intégrés pour compléter et consolider les jeux 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 des clubs agroenvironnementaux ou du MAPAQ) afin de bien couvrir tous les angles spécifiques à chaque culture et d'en tenir compte dans l'interprétation des VSRF, incluant les pratiques culturales en vigueur et les contraintes propres à la culture.

Lorsque l'ensemble des classes de fertilité et des VSRF pour une culture donnée est déterminé, ces informations sont ensuite exploitées par le MAPAQ et le Comité scientifique (CS) lors de l'établissement des prochaines grilles de référence en fertilisation du Québec. Le détail de la démarche effectuée et les résultats du calcul des VSRF sont ainsi présentés au CS qui peut, s'il le juge à propos, adapter certaines de ces valeurs selon des bases scientifiques autres que le jeu des données fourni ainsi que sur la base de leur jugement agronomique. Une fois les recommandations considérées comme finales, elles sont regroupées

et publiées sous la forme de « grilles de référence en fertilisation » par le MAPAQ. Le fascicule de l'IRDA, qui contient tout le détail des jeux de données et de l'ensemble des analyses, est également publié et peut être consulté. Les tableaux finaux de VSRF qui s'y trouvent ne sont ainsi pas toujours identiques à ceux finalement produits par le CS.

Nous sommes convaincus que ces nouvelles grilles constituent des éléments de référence d'une qualité exceptionnelle pour les agronomes et leurs clients, à l'égard de 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 et, bien que ceux-ci soient d'une grande rigueur scientifique, ils constituent essentiellement des points de repère et ne se substituent pas au jugement de l'agronome, qui reste toujours l'ultime responsable de la recommandation. De nombreux facteurs, entre autres 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 personnelle de l'agronome, de même que ses autres sources de référence, pourra également justifier un amendement particulier de la recommandation ou l'établissement de nuances.

Cette deuxième publication détaille les recommandations pour trois cultures céréalières : le blé de printemps, l'orge et l'avoine. 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 commerciale. Lors du traitement des données, la première étape visait à établir la validité (ex. : coefficient de variation, problématique au champ, erreur de traitement ou de mesure) et la représentativité des données (ou des sites) (ex. : texture, proportion de sols de très pauvres à très riches pour l'élément visé, 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 ainsi parfois laissées sans VSRF et à déterminer par le CS. À plusieurs reprises, l'ajout de données provenant d'essais externes a permis de renforcer la représentativité ou la robustesse du jeu de données.

À noter : les grilles de référence pour les trois céréales ne diffèrent que pour l'azote.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de détermination des classes de fertilité et de calcul des VSRF est similaire pour toutes les cultures traitées. À l'aide du test de partition de Cate-Nelson, les indicateurs de fertilité (ex. : [nitrate, P, K]_{sol}, saturation en phosphore [ISP₁], matière organique ou autre) sont mis en relation avec le rendement relatif (rendement du témoin sans engrais divisé par le rendement maximal du bloc) pour déterminer des seuils agronomiques de réponse/non-réponse. Lorsque possible, les seuils sont spécifiques aux groupes de texture G1, G2 et G3. Les meilleurs indicateurs, soit ceux 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 conduites dans le but d'analyser la réponse de la culture aux doses croissantes d'azote, de phosphore et de potassium. Pour éviter les biais causés par les grandes variations qui pourraient être observées entre les rendements produits en grande surface en contexte de production et ceux obtenus en parcelle de recherche, l'effet de l'apport 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 sur 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 ou, dans le cas des catégories de sols les plus pauvres, pour lesquelles il y a peu de données disponibles, 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 finales, 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, de celles du MAPAQ ou encore des données externes, a généré une masse impressionnante d'information utile à court, à moyen et à long terme. L'ensemble des données colligées et validées a été structuré dans une base de données. Celle-ci deviendra accessible pour consultation aux scientifiques, aux conseillers et aux producteurs. Outre les grilles de référence, nous avons choisi de rapporter dans cette publication les concentrations dans les tissus végétaux en éléments nutritifs majeurs (N, P₂O₅ et K₂O) et les quantités exportées dans les récoltes; nous avons aussi indiqué la teneur en nitrate résiduel du sol en post-récolte 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 n'ont été ajustées en fonction des quantités résiduelles de nitrate dans les grilles qui suivent.



BLÉ, ORGE ET AVOINE

Les grilles de référence en fertilisation pour le blé de printemps, l'orge et l'avoine sont présentées dans les pages suivantes. Elles ont été établies à l'aide des résultats d'essais au champ issus de programmes de soutien financés par le MAPAQ ainsi que de travaux de recherche antérieurs réalisés au Québec, comme précisé dans le tableau suivant.

TABLEAU 1 NOMBRE DE SITES SELON LA SOURCE DES DONNÉES D'ESSAIS AU CHAMP POUR LE BLÉ DE PRINTEMPS, L'ORGE ET L'AVOINE

SOURCE DES DONNÉES	ANNÉE	CULTURE		
		BLÉ	ORGE	AVOINE
PSEF ¹	2013-2016	21	22	19
AAC ²	2004-2006	12	-	-
AAC	2013-2014	-	-	2
Moulins de Soulanges	2018	1	-	-
CÉROM	1998 et 2002	2	-	-
Semican	2014	-	1	-
TOTAUX	1998-2018	36	23	21

1. PSEF : Programme de soutien aux essais de fertilisation.

2. AAC : Agriculture et agroalimentaire Canada.

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 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.

Il n'y a pas de 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. Ces renseignements ne doivent d'aucune façon être utilisés pour déterminer les doses d'engrais à recommander.

TABLEAU 2 CONCENTRATIONS ET EXPORTATIONS EN N, EN P₂O₅ ET EN K₂O DANS LES RÉCOLTES DE GRAINS

	CONCENTRATIONS (kg/t humide ¹)			RENDEMENT (t/ha)	EXPORTATIONS		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Blé ²	23,1	9,4	4,4	5170	120	49	22
Orge	14,1	8,9	5,7	5602	79	50	32
Avoine ³	20,3	10,2	5,5	4667	95	48	25

1. Les valeurs sont exprimées sur la base d'une humidité moyenne de 14 %.

2. Les valeurs ont été mesurées sur des cultivars de blé de printemps panifiable et fourrager.

3. Les valeurs ont été mesurées sur des cultivars d'avoine nue et vêtue.

TABLEAU 3 CONCENTRATIONS ET EXPORTATIONS EN N, EN P₂O₅ ET EN K₂O DANS LES RÉCOLTES DE PAILLE

	CONCENTRATIONS (kg/t humide ¹)			RENDEMENT (t/ha)	EXPORTATIONS		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Blé	6,7	1,4	9,5	4593	31	6	45
Orge	6,3	2,2	14,9	3974	25	9	55
Avoine	7,7	2,7	16,1	4256	33	12	66

1. Les valeurs sont exprimées sur la base d'une humidité moyenne de 14 %.

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.

Pour les trois cultures, la fertilisation azotée a entraîné une hausse des teneurs en nitrate, et l'ampleur de l'augmentation varie en fonction de la dose d'azote, de la texture du sol et de la profondeur considérée (figure 1). Toutefois, cette augmentation reste faible dans la plupart des doses moins élevées, car les différences n'ont pas été statistiquement différentes de celles du témoin.

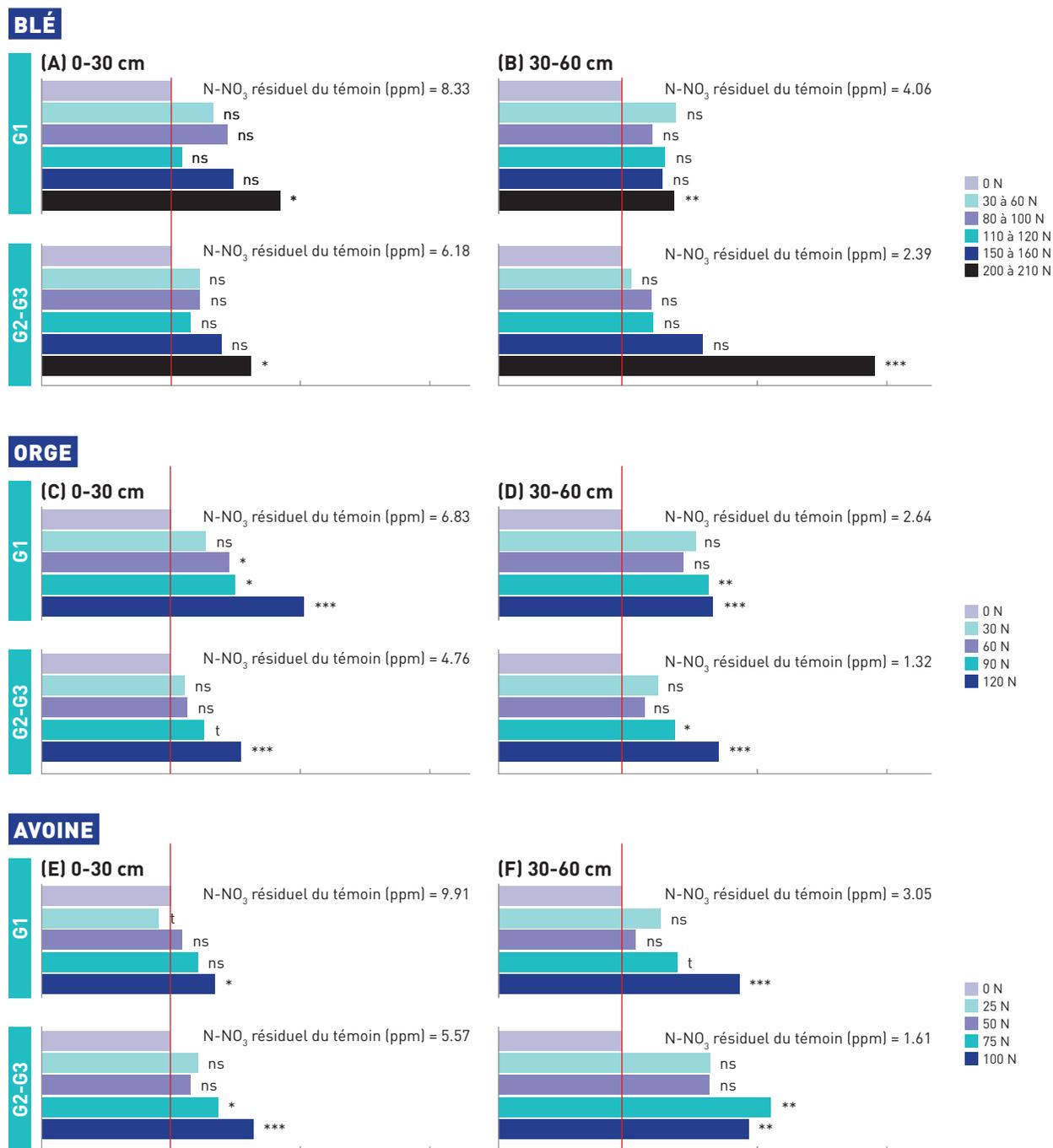
Aux deux profondeurs étudiées et dans toutes les cultures, la teneur en N-NO₃ des parcelles est plus faible dans les sols G2 et G3 que dans les sols G1, telle que démontrée par les valeurs absolues de N-NO₃ des parcelles témoins (figure 1). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les sols de texture fine sont moins lessivables. Les résultats indiquent qu'en général, les doses plus faibles n'ont pas entraîné d'augmentation significative des teneurs en nitrate résiduel dans les deux types de sols (G1 et G2-G3). À l'opposé, l'application des doses les plus élevées (150-210 kg N/ha pour le blé, 90-120 kg N/ha pour l'orge et 75-100 kg N/ha pour l'avoine) a entraîné des augmentations significatives de nitrate résiduel indépendamment de la profondeur et de la texture du sol (figure 1).

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



©Kai Pilger - Unsplash.com

FIGURE 1 INDICES DE NITRATE DU SOL DANS LES ESSAIS DE BLÉ, D'ORGE ET D'AVOINE SELON LES GROUPES DE TEXTURE (G1, G2, ET G3) ET SUR DEUX PROFONDEURS DANS LE SOL (0-30 ET 30-60 CM)



Indice nitrate = N-NO₃ du traitement / N-NO₃ du témoin

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION BLÉ DE PRINTEMPS¹

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec 

AZOTE				
Groupe de textures ²	Matière organique [%] ³	Période d'application	Fractionnement (kg N/ha)	Dose totale (kg N/ha)
G1	≤ 4,0	Au semis, incorporé	60	120
		En post-levée	60	
	> 4,0	Au semis, incorporé	45	90
		En post-levée	45	
G2 et G3	-	Au semis, incorporé	60	120
		En post-levée	60	

1. S'applique au blé de printemps panifiable autant que de provende.
2. G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.
3. Déterminée par la méthode de perte au feu.

PHOSPHORE			
Groupe de textures ¹	Classe de fertilité ISP ₁ [%] ²	Période d'application	Dose (kg P ₂ O ₅ /ha)
G1	≤ 1,8	Au semis, incorporé	90
	1,9 – 3,6		60
	3,7 – 7,6		30
	> 7,6		0
G2 et G3	≤ 2,3	Au semis, incorporé	90
	2,4 – 5,0		60
	5,1 – 13,1		30
	> 13,1		0

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.

POTASSIUM			
Groupe de textures	K _{m3} (ppm) ¹	Période d'application	Dose (kg K ₂ O/ha)
G1, G2 et G3	≤ 30	Au semis, incorporé	90
	31 – 90		60
	91 – 180		30
	> 181		0

1. K_{m3} : K extrait par la méthode Mehlich-3 (1984).

AZOTE		
Groupe de textures ¹	Période d'application	Dose (kg N/ha)
G1	Au semis, incorporé	60 – 90 ^{2,3,4,5}
G2 et G3	Au semis, incorporé	90 ^{4,5,6}

1. G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.
2. Pour un sol G1 riche en matières organiques (> 5,0 % m.o.), la dose pourrait être abaissée à 30 kg N/ha.
3. Ajuster selon la résistance du cultivar à la verse.
4. La dose de 90 kg N/ha pourrait être fractionnée en deux applications.
5. Pour les cultivars d'orge brassicole, limiter l'apport à 60 kg N/ha pour ne pas excéder le seuil de 12,5 % de protéines.
6. Sur les sols G2 et G3 pauvres en matières organiques (< 3,0 % m.o.), un meilleur rendement peut être obtenu avec 120 kg N/ha, tout en considérant le risque de verse.

PHOSPHORE			
Groupe de textures ¹	Classe de fertilité ISP ₁ (%) ²	Période d'application	Dose (kg P ₂ O ₅ /ha)
G1	≤ 1,8	Au semis, incorporé	90
	1,9 – 3,6		60
	3,7 – 7,6		30
	> 7,6		0
G2 et G3	≤ 2,3	Au semis, incorporé	90
	2,4 – 5,0		60
	5,1 – 13,1		30
	> 13,1		0

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.

POTASSIUM			
Groupe de textures	K _{m3} (ppm) ¹	Période d'application	Dose (kg K ₂ O/ha)
G1, G2 et G3	≤ 30	Au semis, incorporé	90
	31 – 90		60
	91 – 180		30
	> 181		0

1. K_{M3} : K extrait par la méthode Mehlich-3 (1984).

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION AVOINE

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec 

AZOTE			
Groupe de textures ¹	Matière organique [%] ²	Période d'application	Dose totale (kg N/ha)
G1	≤ 4,0	Au semis, incorporé	50 ³
	> 4,0	Au semis, incorporé	25 ³
G2 et G3	≤ 4,0	Au semis, incorporé	75 ⁴
	> 4,0	Au semis, incorporé	25 ³

1. G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.
2. Déterminée par la méthode de perte au feu.
3. Selon l'historique du champ, la dose pour l'avoine nue peut être rehaussée à 75 kg N /ha, en considérant la plus forte réponse à l'azote observée dans les essais de ce type d'avoine.
4. Si le cultivar utilisé est sensible à la verse et en fonction de l'historique du champ, cet apport peut être réduit à la baisse jusqu'à une dose de 50 kg N/ha.

PHOSPHORE			
Groupe de textures ¹	Classe de fertilité ISP _p [%] ²	Période d'application	Dose (kg P ₂ O ₅ /ha)
G1	≤ 1,8	Au semis, incorporé	90
	1,9 – 3,6		60
	3,7 – 7,6		30
	> 7,6		0
G2 et G3	≤ 2,3	Au semis, incorporé	90
	2,4 – 5,0		60
	5,1 – 13,1		30
	> 13,1		0

1. G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.
2. ISP_p : indice de saturation en phosphore [P (mg/kg)/Al (mg/kg)] X 100. P et Al extraits par Mehlich-3.

POTASSIUM			
Groupe de textures	K _{m3} (ppm) ¹	Période d'application	Dose (kg K ₂ O/ha)
G1, G2 et G3	≤ 30	Au semis, incorporé	90
	31 – 90		60
	91 – 180		30
	> 181		0

1. K_{m3} : K extrait par la méthode Mehlich-3 [1984].

*Agriculture, Pêcheries
et Alimentation*

Québec 