



GRILLES DE RÉFÉRENCE

EN FERTILISATION

COMITÉ DE COORDINATION

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

Ann-Gabrielle Jutras, agr., MAPAQ

Louis Robert, M. Sc., agr., MAPAQ

Gilles Tremblay, M. Sc., agr., MAPAQ

DÉTERMINATION DES VALEURS SCIENTIFIQUES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

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

Stéphanie Houde, M. Sc., agr., IRDA

Claude-Alla Joseph, Ph. D., IRDA

Julie Forest-Drolet, M. Sc., IRDA

Anaïs Charles, Ph. D., IRDA

Mélissa Paradis, M. Sc., biologiste, IRDA

ÉTABLISSEMENT DES GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

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

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

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

Éric Thibault, agr., directeur général, PleineTerre

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

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

Ce projet a été financé par le programme Prime-Vert 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 en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques
du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre 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 au champ, l'équipe de l'IRDA devait aussi poursuivre le travail entrepris préalablement en vertu du Plan de révision des grilles de référence en fertilisation du MAPAQ (2017-2020), c'est-à-dire réunir et valider les données utiles pour calculer des valeurs scientifiques de référence en fertilisation (VSRF). En ce qui concerne certaines cultures, les résultats des essais 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, des agronomes travaillant pour des clubs agroenvironnementaux ou au MAPAQ ont été sollicités. Les discussions avec ces spécialistes ont été particulièrement utiles pour avoir l'assurance que les recommandations tenaient compte tant des pratiques culturelles en vigueur que des contraintes propres à la culture.

Lorsque l'ensemble des VSRF pour une culture donnée est déterminé, ces valeurs sont ensuite exploitées par le MAPAQ dans l'opération 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 ensuite présentés à un comité scientifique qui peut, s'il le juge à propos, adapter certaines de ces valeurs selon

des bases scientifiques autres que le jeu des données fourni ou sur la base de leur jugement agronomique. Une fois les VSRF considérées comme finales, elles sont regroupées et publiées sous la forme de « grilles de référence en fertilisation » par le MAPAQ.

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 (par exemple, 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 première publication détaille les recommandations pour trois cultures maraîchères en sol minéral : la carotte, le haricot (jaune ou vert) et les pois de conserve. 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. Préalablement au traitement des données, la représentativité de l'ensemble des sites a été établie et validée quant à la texture, à la probabilité d'obtenir une réponse (sols de très pauvres à très riches pour l'élément visé) et à la répartition géographique. L'ajout de réseaux d'essais externes a permis d'étayer encore davantage cette représentativité.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de calcul des VSRF est similaire pour toutes les cultures traitées. Les indicateurs de fertilité (ex. : [nitrate, P, K]sol, saturation en phosphore [ISP1], groupe textural, matière organique ou tout autre indicateur approprié) sont mis en relation avec le rendement relatif (rendement du témoin sans engrais divisé par le rendement maximal du bloc de répétition). Par la suite, les seuils de réponse/non-réponse sont déterminés à l'aide du test de partition de Cate-Nelson. Les indicateurs les plus efficaces, c'est-à-dire ceux qui permettent de déterminer le plus précisément les classes de fertilité, sont ensuite retenus pour analyser la réponse de la culture aux doses croissantes d'azote, de phosphore et de potassium de part et d'autre des seuils établis au moyen d'analyses de variance. 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 des bases scientifiques autres que le jeu de données ou le jugement agronomique. Par exemple, 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 rehausser la teneur du sol en 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, P205 et K2O) et les quantités exportées dans les récoltes; nous avons aussi indiqué la teneur en nitrate résiduel à la 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 de ce critère dans les grilles qui suivent.



©Freepik.com



©Jonathan Mast - Unsplash.com

CAROTTE (EN SOL MINÉRAL), HARICOTS (JAUNES ET VERTS) ET POIS

Les grilles de référence en fertilisation pour la carotte (en sol minéral), le haricot (jaune ou vert) et le pois 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 il est précisé dans le tableau suivant.

TABLEAU 1 NOMBRE DE SITES SELON LA SOURCE DES DONNÉES D'ESSAIS AU CHAMP POUR LA CAROTTE, LE HARICOT ET LE POIS

SOURCE DES DONNÉES	ANNÉE	CULTURE		
		CAROTTE	HARICOT	POIS
Dubé, Armand	1974	-	2	-
Chamberland, Émile	1978-1980	-	15	13
Programme de soutien à l'innovation horticole (PSIH)	2004-2008	11	-	-
Programme de soutien aux essais de fertilisation des cultures maraîchères (PSEFCM)	2008-2012	4	14	13
Programme de soutien aux essais de fertilisation (PSEF)	2013-2018	-	-	-
Mandat de l'IRDA pour la révision des valeurs scientifiques de référence en fertilisation (MIRVRF)	2020-2023	-	-	-
Bilan	1978-2012			26
	1974-2012		31	
	2004-2012	15		

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 robuste 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 en compte exclusivement la biomasse qui quitte le champ à la récolte (feuilles, tiges, fruits, racines, etc.). Pour cette raison, il est question d'exportations plutôt que de prélèvements. Les rendements totaux ont été pris en considération (plutôt que commercialisables), car le tri des légumes s'est fait en dehors du champ, après la récolte.

Il n'y a pas de lien de cause à effet entre les quantités d'éléments prélevés ou exportés (ou le rendement visé ou le rendement 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

	HUMIDITÉ (%)	CONCENTRATIONS (kg/t humide)			RENDEMENT (t/ha)	EXPORTATIONS (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Carotte	88	1,56	0,83	4,30	111	174	93	478
Haricot	91	2,93	0,83	2,68	18	52	15	48
Pois	79	9,00	2,47	3,43	8	75	21	29

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 nitrate qui a été utilisé pour déterminer si l'augmentation du nitrate résiduel était notable en présence d'engrais azoté.

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

CAROTTE

Pour les sols argileux (G1), la seule valeur significativement supérieure au témoin concerne la dose de 100 kg N/ha dans la couche de sol sous-jacente (de 30 à 60 cm; voir le tableau 3). Les résultats obtenus ne permettent pas d'expliquer le manque de différence par rapport au témoin de la dose de 150 kg N/ha.

En ce qui a trait aux sols G2 et G3, l'augmentation des doses d'azote a entraîné une hausse notable de la concentration de nitrate à la postrécolte dans les couches de sol de 0 à 30 cm et de 30 à 60 cm, et ce, même pour la plus petite dose testée dans le cas de la couche de surface. Cela suggère que, comparativement au sol argileux, l'effet de la fertilisation azotée sera plus important dans les sols G2 et G3 et que ces sols requièrent une gestion plus soutenue afin de minimiser les risques d'écoulement d'azote vers les cours d'eau.

TABLEAU 3 INDICES NITRATE POUR LA CAROTTE

DOSES (kg N/ha)	SOLS DE TYPE G1		SOLS DE TYPE G2 ET G3	
	De 0 à 30	De 30 à 60	DE 0 À 30	De 30 à 60
50	0,96	0,81	1,27**	1,25
100	1,08	2,30	1,12*	1,31
150	1,00	1,52	1,34	1,64

* Indices en caractères gras : tendance à être significativement différents du témoin de 0 N.

** Indices en caractères gras et soulignés : significativement différents du témoin.

HARICOT

Dans les sols à texture fine (G1) ou moyenne (G2), les teneurs en nitrate ne sont pas différentes du témoin de manière notable, peu importe la dose ou la profondeur (voir le tableau 4). Les sols à texture grossière (G3) montrent des teneurs plus élevées de N-NO₃ que le témoin dans la couche de 30 à 60 cm. Les doses égales ou supérieures à 60 kg N/ha ont augmenté le nitrate résiduel de façon marquée, ce qui indique qu'une fertilisation azotée plus importante dans ces sols accroît le risque de perdre de l'azote dans l'environnement.

TABLEAU 4 INDICES NITRATE POUR LE HARICOT

DOSES (kg N/ha)	SOLS DE TYPE G1		SOLS DE TYPE G2		SOLS DE TYPE G3	
	De 0 à 30	De 30 à 60	De 0 À 30	De 30 à 60	De 0 à 30	De 30 à 60
20	0,95	1,15	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
30-40	0,92	1,00	1,10	1,52	0,94	0,74
60	1,19	1,22	0,78	1,32	0,96	1,43
90	1,00	1,11	1,02	0,99	1,20	1,58
120	1,03	0,98	n. d.	n. d.	0,87	1,70

POIS

Le groupe textural n'a que peu d'incidence sur le nitrate résiduel dans la culture du pois; en conséquence, les résultats ont été regroupés pour G1, G2 et G3 (voir le tableau 5). Le nitrate résiduel pour les deux couches de sol augmente de manière importante suivant l'augmentation de la dose de N, pour toutes les doses. Cela révèle que le risque de lessivage s'accroît avec l'utilisation de plus fortes doses d'engrais et qu'il sera proportionnel à la mesure de la dose employée. Il est donc important, sur les plans environnemental et économique, de ne pas appliquer trop d'azote, car la plante ne semble pas l'utiliser. La planification de la fertilisation de la culture suivante devra tenir compte de ces résidus de N dans le sol dans le cadre de la réalisation du bilan d'azote dans le sol.

TABLEAU 5 INDICES NITRATE POUR LE POIS

DOSES (kg N/ha)	SOLS DE TYPE G1, G2 ET G3	
	DE 0 À 30	De 30 à 60
30	1,33	1,21
60	1,35	1,31
90	1,44	1,31



©Artem Kostenko - Unsplash.com

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION CAROTTE (SOL MINÉRAL)

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation



AZOTE	
Mode et période d'utilisation	Recommandation (kg N/ha) ¹
En bande au semis	25
En bande au stade 6-10 feuilles	25

PHOSPHORE			
Groupe de textures ²	ISP ₁ ^{3,4} (%)	Mode et période d'utilisation	Recommandation (kg P205/ha)
G1	≤ 3,8	En bande au semis	90
	3,9 – 7,6		35 ¹
	7,7 – 15,2		35-0 ¹
	> 15,2		0
G2 et G3	≤ 6,5	En bande au semis	90
	6,6 – 13,1		35 ⁴
	13,2 – 26,2		35-0 ^{4,5}
	> 26,2		0

POTASSIUM		
K _{M3} (ppm)	Mode et période d'application	Recommandation (kg K2O/ha)
≤ 95	En bande au semis	40 ¹
	En bande au stade 6-10 feuilles	60
96 – 190	En bande au semis	40 ¹
	En bande au stade 6-10 feuilles	10
> 190	–	0

1. En l'absence de réponse, la plus petite dose testée est recommandée.
2. Seuils environnementaux selon les textures du Règlement sur les exploitations agricoles (REA). G1 : sols de texture fine; G2 : sols de texture moyenne; G3 : sols de texture grossière.
3. Les catégories ont été déterminées selon les seuils environnementaux et selon des seuils obtenus à l'aide du test de Cate-Nelson.
4. ISP1 = indice de saturation en phosphore [PM3 (mg/kg) / AIM3 (mg/kg)] x 100. Ces éléments sont extraits de Mehlich-3.

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION HARICOT (VERT OU JAUNE)

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec 

AZOTE			
Groupe de textures ¹	Matière organique ²	Mode et période d'application	Recommandation (kg N/ha)
G1	-	En bande au semis, jusqu'au 1 ^{er} sarclage	40
G2 et G3	≤ 5,5 %	En bande au semis, jusqu'au 1 ^{er} sarclage	60
	> 5,5 %		20

PHOSPHORE			
Groupe de textures	ISP ₁ ³ (%)	Mode et période d'application	Recommandation (kg P ₂ O ₅ /ha)
G1	≤ 7,6	En bande au semis, jusqu'au 1 ^{er} sarclage	30
	> 7,6		0
G2 et G3	≤ 6,6	En bande au semis, jusqu'au 1 ^{er} sarclage	60
	6,7 – 13,2		30
	> 13,2		0

POTASSIUM			
Groupe de textures	K _{M3} (ppm)	Mode et période d'application	Recommandation (kg K ₂ O/ha)
G1, G2 et G3	< 30	En bande au semis, jusqu'au 1 ^{er} sarclage	45
	30 – 60		30
	> 60		0 ⁴

1. G1 : sols de texture fine; G2 : sols de texture moyenne; G3 : sols de texture grossière.
2. Déterminée par la méthode de perte au feu.
3. $ISP_1 = [P_{M3} \text{ (mg/kg)} / Al_{M3} \text{ (mg/kg)}] \times 100$. Éléments extraits de Mehlich-3 (1984).
4. Des pertes de rendement peuvent être enregistrées dans les sols à haute teneur en K_{M3} suivant des apports additionnels de K₂O en K_{M3}.

AZOTE	
Mode et période d'application	Recommandation (kg N/ha)
À la volée avant le semis et incorporé	30

PHOSPHORE			
Groupe de textures ¹	ISP ₁ ^{2,3} (%)	Mode et période d'application	Recommandation (kg P2O5/ha)
G1	0 – 7,6	À la volée avant le semis et incorporé	30
	> 7,6		0
G2 et G3	0 – 3,5	À la volée avant le semis et incorporé	60
	3,6 – 13,1		30
	>13,1		0

POTASSIUM			
Groupe de textures ¹	K _{M3} (ppm)	Mode et période d'application	Recommandation (kg K2O/ha)
G1		À la volée avant le semis et incorporé	30
G2 et G3	0 – 145	À la volée avant le semis et incorporé	30
	>145		0 ⁴

1. G1 : sols de texture fine; G2 : sols de texture moyenne; G3 : sols de texture grossière.
2. $ISP_1 = [P_{M3} \text{ (mg/kg)} / Al_{M3} \text{ (mg/kg)}] \times 100$. Éléments extraits de Mehlich-3 (1984).
3. Les catégories ont été déterminées selon les seuils environnementaux et selon des seuils obtenus à l'aide du test de Cate-Nelson.
4. Dose nulle recommandée en raison des pertes de rendement enregistrées dans les sols à haute teneur en potassium.

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 