

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

OIGNON ESPAGNOL ET BETTERAVE POTAGÈRE



COMITÉ DE COORDINATION

Gerardo Gollo Gil, directeur régional adjoint,
ministère de l'Agriculture, des Pêcheries de l'Alimentation (MAPAQ)

Ann-Gabrielle Jutras, agronome, MAPAQ

Louis Robert, M. Sc., agronome, MAPAQ

Abdenour Boukhalifa, M. Sc., agronome, MAPAQ

DÉTERMINATION DES VALEURS SCIENTIFIQUES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION

Christine Landry, Ph. D., agronome et 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

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

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

ÉDITION

Direction des communications

Ce projet a été financé par l'entremise du volet 1 du programme Prime-Vert, mis en oeuvre 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

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'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'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) devait 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 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 et professionnels des clubs agroenvironnementaux ou du MAPAQ). L'objectif consistait à inclure tous les aspects particuliers de chaque culture et d'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 de données fourni ainsi que sur la base de son juge-

ment 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 les jeux de données et 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 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, particulièrement 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 troisième publication détaille les recommandations pour deux cultures maraîchères : l'oignon espagnol et la betterave potagère. 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 en production commerciale. 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 dont la condition allait de très pauvres à très riches pour l'élément visé et répartition géographique). Les données non valides ont été retirées du jeu de données. Ainsi, bien que cela soit relativement rare, certaines plages de valeurs de sols ou catégories de sols 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 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 ou de non-réponse. Lorsque cela est possible, les seuils sont propres 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 réalisées 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 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 ou, dans le cas des catégories de sols les plus pauvres, pour lesquelles il existe peu de données, 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 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 (azote [N], pentoxyde de phosphore [P₂O₅] et oxyde de potassium [K₂O]) dans les tissus végétaux et 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.



OIGNON ESPAGNOL ET BETTERAVE POTAGÈRE

Les pages suivantes présentent les grilles de référence en fertilisation pour l'oignon espagnol et la betterave potagère. Ces dernières ont été établies à l'aide des résultats de 40 essais au champ (20 pour la betterave potagère et 20 pour l'oignon espagnol) réalisés dans le cadre du Programme de soutien aux essais de fertilisation des années 2013 à 2019. Les essais ont été menés dans les régions de la Montérégie, des Laurentides et de Lanaudière pour l'oignon et la betterave ainsi qu'en Chaudière-Appalaches et dans la Capitale-Nationale pour la betterave. Les pratiques culturales étaient en tous points les mêmes ou similaires aux pratiques adoptées en production commerciale. Une gamme très étendue de textures caractérisait les sols où les essais étaient menés, autant pour la betterave que pour l'oignon, allant du sable à l'argile lourde en passant par les différentes classes loameuses.

Les apports d'éléments fertilisants ont parfois produit différents effets selon le marché visé, et dans le cas de la betterave potagère, cela a mené à des analyses distinctes et à des recommandations particulières concernant l'azote et le potassium pour les marchés « vendable » (regroupant les calibres « cello » [de 3,8 à 6,4 cm] et « institution » [de 6,5 à 10,2 cm]) et « cello ». Les oignons récoltés ont été classés en six calibres vendables. On a considéré la proportion des plus gros calibres (« jumbos », soit 8,3 cm et plus) dans l'analyse.

Pour les deux légumes, les recommandations d'azote varient également selon le groupe textural et la matière organique. Reflétant les méthodes d'apport usuelles en production commerciale, les apports d'azote ont été fractionnés lors des essais, ce qui a mené à des recommandations applicables en deux temps. Un suivi des paramètres de qualité des racines a été assuré au moyen de mesures et d'évaluations de la robustesse de l'attache du feuillage, des pertes à la récolte et des pertes durant l'entreposage (117 jours). Ces critères ont été vérifiés et considérés lors de l'établissement des VSRF et des doses recommandées. Dans le cas des oignons, les pertes à la récolte, les pertes durant l'entreposage (67 jours) et la fréquence de facteurs de déclassement (tuniques translucides, grosseur du collet, rétention des pelures et « cœurs doubles ») ont été évaluées et analysées. Ces considérations n'ont toutefois pas entraîné de modifications des doses établies sur la base des analyses de variance pour les différents indicateurs de fertilité et marchés visés.

En plus des améliorations déjà mentionnées par rapport aux références actuelles, ces nouvelles grilles intègrent l'Indice de saturation en phosphore (ISP_1) comme indicateur de fertilité phosphatée principal dans la détermination des doses de phosphate recommandées, comme c'était le cas pour les grilles récemment publiées (céréales, carotte, etc.). L' ISP_1 est reconnu comme un meilleur indicateur de la biodisponibilité du phosphore que le P_{M3} seul.

Le potassium est rapporté en parties par million (ppm), et non plus en kilogrammes par hectare (kg/ha). C'est d'ailleurs l'unité que les laboratoires utilisaient déjà pour le dosage de cet élément. Ils la convertissaient en kg/ha en multipliant les ppm par 2,24, un coefficient arbitraire qui entraîne une imprécision, car il est basé sur une masse volumique apparente très variable d'un sol à l'autre. Les laboratoires seront appelés à présenter les résultats de potassium en ppm.

La méthode utilisée ici et préconisée pour mesurer la teneur en matière organique est celle de la perte au feu (MO_{PAF}), que la majorité des laboratoires accrédités adoptent déjà.

EXPORTATIONS DE N, DE P_2O_5 ET DE K_2O

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 P_2O_5 et de K_2O 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 (racines). Pour cette raison, il est question d'exportations plutôt que de prélèvements.

Il n'existe 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 1 CONCENTRATIONS ET EXPORTATIONS EN N, EN P_2O_5 ET EN K_2O DANS LES RÉCOLTES DE RACINES

	HUMIDITÉ (%)	CONCENTRATIONS (kg/t humide)			RENDEMENT (t/ha)	EXPORTATIONS		
		N	P_2O_5	K_2O		N	P_2O_5	K_2O
Oignon	90	0,99	0,54	1,40	101 727	100	55	142
Betterave	86	2,25	0,87	4,43	57 958	66	50	251

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 deux 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 hausse reste faible pour la plupart des doses moins élevées, car les différences n'ont pas été statistiquement distinctes de celles de la parcelle témoin.

OIGNON

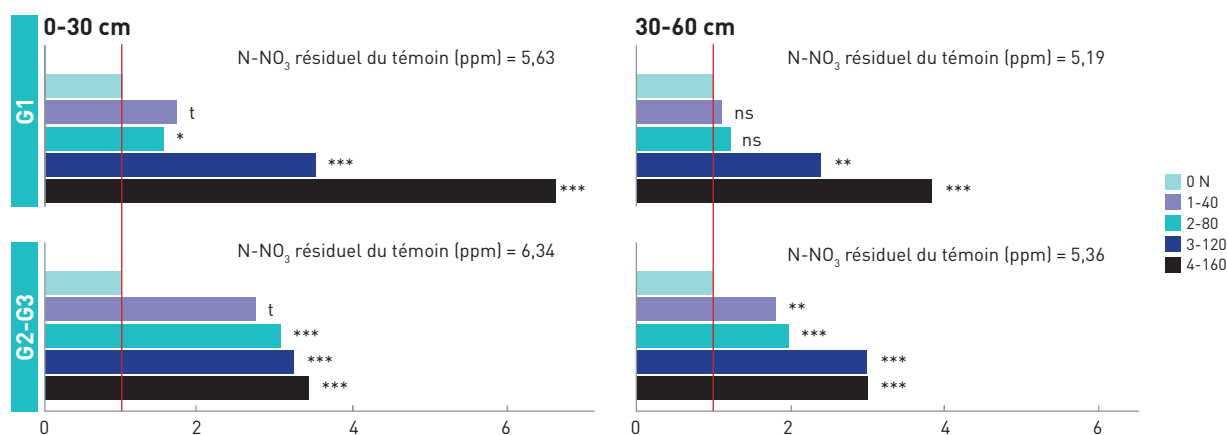
Hormis les deux plus petites doses testées dans la couche de 30 à 60 cm, l'effet de la fertilisation azotée sur l'augmentation de la teneur en nitrate du sol a été considérable pour tous les traitements. Les teneurs en azote-nitrates ($N-NO_3$) étaient plus faibles dans les sols G1 que dans les sols G2 et G3, y compris dans les parcelles témoins. Les résultats des analyses ont montré que l'azote dans les sols G2 et G3 tendait à augmenter ou excédait grandement la quantité dans la parcelle témoin dès l'application de la plus petite dose testée pour les deux profondeurs de sols. Bien que les quantités de nitrate résiduel mesurées dans les sols diffèrent sensiblement des quantités mesurées dans la parcelle témoin, elles demeurent faibles et ne représenteraient pas un risque accru de pollution environnementale, à l'exception de la dose de 160 kg N/ha dans les sols G1.

BETTERAVE

Aux deux profondeurs analysées, les augmentations de $N-NO_3$ résiduel dans le sol à la suite de la fertilisation azotée ont été plus importantes dans les sols G2 et G3 que dans les sols G1. En effet, dans les sols G1, seule la dose de 200 kg N/ha a causé une augmentation importante de $N-NO_3$ résiduel en surface. À l'opposé, dans les sols G2 et G3, des hausses considérables étaient observables même après l'application des plus petites doses d'azote (de 80 à 100 kg N/ha). Ces résultats démontrent que malgré l'effet important de l'engrais azoté dans les sols G2 et G3, une partie de celui-ci est perdue par lixiviation. Toutefois, il convient de noter que les quantités de $N-NO_3$ ont été faibles : de 1,45 à 3,24 ppm, toutes textures et profondeurs confondues.

$$\text{INDICE NITRATE} = \frac{[N-NO_3] \text{ DE LA PARCELLE FERTILISÉE (PPM)}}{[N-NO_3] \text{ DU TÉMOIN (PPM)}}$$

FIGURE 1 INDICES DE NITRATE À LA SUITE DES TRAITEMENTS AZOTÉS D'OIGNONS ESPAGNOLS AUX PROFONDEURS 0-30 ET 30-60 CM DANS LES SOLS G1 PAR RAPPORT AUX SOLS G2 ET G3, AU MOMENT DE LA RÉCOLTE



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

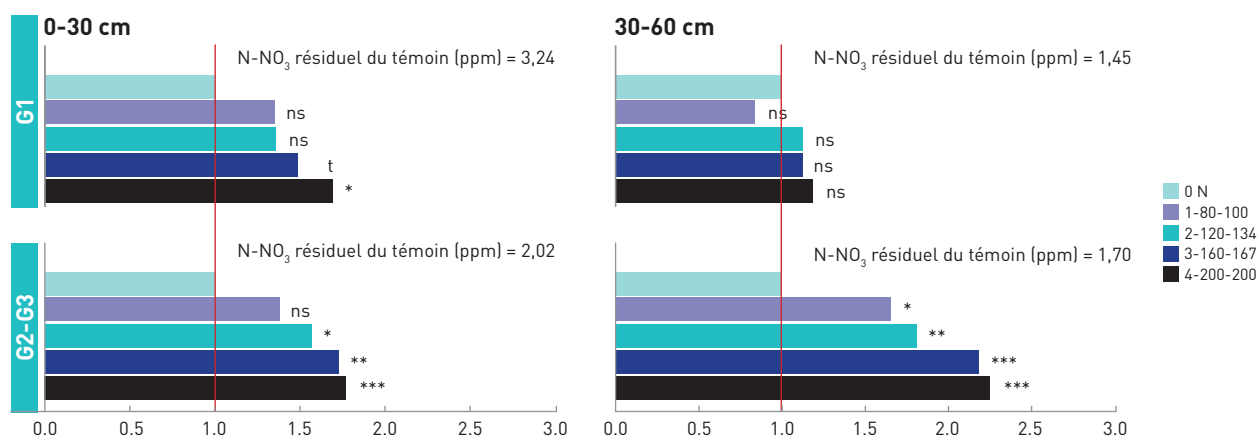
Les données présentées concernent uniquement les essais menés dans le cadre du Programme de soutien aux essais de fertilisation. La statistique présentée à la droite des barres horizontales indique si le traitement est différent de la parcelle témoin 0 N.

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

Sols G1 : $P_{0-30\text{cm}} = 0,0038$ et $P_{30-60} < 0,0001$

Sols G2 et G3 : $P_{0-30\text{cm}} < 0,0001$ et $P_{30-60} < 0,0001$

FIGURE 2 INDICES DE NITRATE À LA SUITE DES TRAITEMENTS AZOTÉS DE BETTERAVES POTAGÈRES AUX PROFONDEURS 0-30 ET 30-60 CM DANS LES SOLS G1 PAR RAPPORT AUX SOLS G2 ET G3, AU MOMENT DE LA RÉCOLTE



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

La statistique présentée à la droite des barres horizontales indique si le traitement est différent de la parcelle 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 : $< 0,001$

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION OIGNON ESPAGNOL

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec



AZOTE				
Groupe de textures ¹	Classe de fertilité MO _{PAF} (%) ²	Période d'application	Fractionnement (kg N/ha)	Dose (kg N/ha)
G1, G2 et G3	≤ 3,0	À la transplantation, incorporé	50	80
		Stades 5-7 feuilles, incorporé	30	
	> 3,0	À la transplantation, incorporé	-	40

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

2. MO_{PAF} : matière organique déterminée à l'aide de la méthode par perte au feu.

PHOSPHORE			
Groupe de textures ¹	Classe de fertilité ISP ₁ (%) ²	Mode et période d'application	Dose (kg P ₂ O ₅ /ha)
G1	≤ 7,6	À la transplantation, incorporé	45
	> 7,6		0
G2 et G3	≤ 13,1	À la transplantation, incorporé	45
	> 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 du sol = $[P_{M3} \text{ (ppm)} / A_{M3} \text{ (ppm)}] \times 100$, éléments extraits à l'aide de la méthode Mehlich-3 (Mehlich, 1984) et dosés par spectroscopie d'émission au plasma (SEP ou ICP : *Inductively coupled plasma*).

POTASSIUM				
Groupe de textures ¹	Classe de fertilité K _{m3} (ppm) ²	Période d'application	Fractionnement (kg K ₂ O/ha)	Dose (kg K ₂ O/ha)
G1, G2 et G3	< 84	À la transplantation, incorporé	100	180
		Stades 5-7 feuilles, incorporé	80	
	85-140	À la transplantation, incorporé	100	150
		Stades 5-7 feuilles, incorporé	50	
	141-195	À la transplantation, incorporé		100
	196-252	À la transplantation, incorporé	-	60
	> 253	À la transplantation, incorporé	-	0

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

2. K_{m3} : potassium extrait à l'aide de la méthode Mehlich-3 (Mehlich, 1984).

GRILLES DE RÉFÉRENCE EN FERTILISATION BETTERAVE POTAGÈRE

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation



AZOTE					
Calibres visés	Groupe de textures ¹	Classe de fertilité MO _{PAF} (%) ²	Période d'application	Fractionnement (kg N/ha)	Dose totale (kg N/ha)
Cello et institution	G1	≤ 4,5	Au semis	100	160
			Au stade 6 feuilles	60	
		> 4,5	Au semis	50	80
			Au stade 6 feuilles	30	
	G2 et G3	≤ 4,5	Au semis	120	200
			Au stade 6 feuilles	80	
		4,6-6,6	Au semis	70	120
			Au stade 6 feuilles	50	
		> 6,6	Au semis	50	80
			Au stade 6 feuilles	30	
Cello	G1, G2 et G3	≤ 2,0	Au semis	70	120
			Au stade 6 feuilles	50	
		2,1-5,6	Au semis	50	80
			Au stade 6 feuilles	30	
		> 5,6	Au semis	65	65
			Au stade 6 feuilles	0	

1. G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.
2. MO_{PAF} : matière organique déterminée à l'aide de la méthode par perte au feu.

PHOSPHORE				
Calibre visé	Groupe de textures ¹	Classe de fertilité ISP ₁ (%) ²	Mode et période d'application	Dose totale (kg P ₂ O ₅ /ha)
Cello et/ou institution	G1	≤ 3,0	Au semis	80 ³
		3,1-7,6		40
		> 7,6		0
	G2 et G3	≤ 3,0	Au semis	80 ³
		3,1-13,1		40
		> 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 du sol = $[P_{M3} \text{ (ppm)} / A_{M3} \text{ (ppm)}] \times 100$, éléments extraits à l'aide de la méthode Mehlich-3 (Mehlich, 1984) et dosés par spectroscopie d'émission au plasma (SEP ou ICP : *Inductively coupled plasma*).
3. Dose proposée en l'absence d'essai pour cette classe de fertilité afin d'éviter une diminution trop rapide de la fertilité phosphatée des sols faiblement saturés et fixateurs en phosphore.



POTASSIUM					
Calibres visés ¹	Groupe de textures ²	Classe de fertilité K_{M3} (ppm) ³	Période d'application	Fractionnement (kg K_2O /ha)	Dose totale (kg K_2O /ha)
Cello et institution	G1, G2 et G3	≤ 48	Au semis	120	210
			En post-levée	90	
		49-97	Au semis	90	140
			En post-levée	50	
		98-143	Au semis	50	70
			En post-levée	20	
		> 143	Au semis	35	35
			En post-levée	0	
Cello	G1, G2 et G3	≤ 48	Au semis	75	125
			En post-levée	50	
		49-97	Au semis	50	70
			En post-levée	20	
		98-143	Au semis	50	70
			En post-levée	20	
		> 143	Au semis	35	35
			En post-levée	0	

1. Cello : diamètre de 3,8 à 6,4 cm; institution : diamètre de 6,5 à 10,2 cm.
2. G1 : sols à texture fine; G2 : sols à texture moyenne; G3 : sols à texture grossière.
3. K_{M3} : potassium extrait à l'aide de la méthode Mehlich-3 (1984).

