

## Cultures fourragères porte-graine

## De nouvelles références pour raisonner la fertilisation PKMg

Coraline Ravenel

Le phosphore ( $P_2O_5$ ), le potassium ( $K_2O$ ) et le magnésium ( $MgO$ )<sup>1</sup> sont des éléments indispensables à la croissance des plantes ainsi qu'à la formation et aux remplissages des graines. L'acquisition récente de nouvelles données expérimentales permet d'actualiser et de compléter les références sur les exportations de ces éléments pour les principales graminées et légumineuses porte-graine.

1. En agronomie, les éléments fertilisants (P, K, Mg...) sont conventionnellement exprimés en oxydes ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ...) bien qu'ils ne se présentent pas forcément sous ces formes chimiques dans le sol. Les fractions biodisponibles absorbées par les racines des plantes dans la solution du sol sont les ions phosphates ( $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$ ), potassium ( $K^+$ ) et magnésium ( $Mg^{2+}$ ).



Les graminées fourragères porte-graine sont moyennement exigeantes en phosphore et potasse (ici une fétuque élevée).

Coraline Ravenel / FNAMIS

**P**our assurer une alimentation non limitante des cultures et préserver la fertilité des sols, la fertilisation phosphatée, potassique et magnésienne doit intégrer deux facteurs : en premier lieu la richesse du sol et ensuite l'exportation de ces éléments par les produits de récolte, mais aussi par les résidus de culture.

### Le rôle essentiel des éléments nutritifs PKMg

- Le **phosphore** entre dans la composition de nombreuses molécules essentielles aux processus vitaux tels que la multiplica-

tion des cellules, la respiration ou la photosynthèse. Le phosphore favorise la vigueur au démarrage et la croissance du jeune système racinaire.

- Le **potassium** assure également de nombreuses fonctions dans le métabolisme de la plante : il maintient la plante dressée (turgescence et résistance des parois cellulaires), favorise la photosynthèse (port des feuilles), régule la circulation de la sève brute ascendante, régule le chargement des assimilés (sucres, acides aminés) dans la sève élaborée vers les racines et les organes de réserve (grains, fruits, tubercules...). C'est

aussi un élément clé dans la tolérance des plantes à la résistance au froid, à la sécheresse et aux maladies.

- Le **magnésium** est indispensable à l'activité photosynthétique (élément constitutif de la chlorophylle). Cet élément intervient également dans l'activation des enzymes, la synthèse des protéines et des sucres, la contribution avec le potassium, à la pression intracellulaire et, avec le calcium, à la rigidité des parois qui maintiennent le port de la plante.

### Le principe du raisonnement de la fertilisation PKMg

Le calcul de dose des apports en PKMg repose sur les exportations de la culture qui doit être fertilisée.

Le raisonnement de la fertilisation phospho-potassique développé par le Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée (COMIFER) repose sur quatre critères :

- L'exigence de la culture ;
- La teneur du sol en  $P_2O_5$  et  $K_2O$  ;
- Le passé récent de fertilisation (nombre d'années successives

### MANIFESTATION DE CARENCE

Lorsque l'un des éléments nutritifs fait défaut dans le sol, ou est présent en faible quantité, les besoins de la plante ne seront pas satisfaits : sa croissance et son développement seront réduits. On parle alors de carence. Parfois ce sont des carences induites : l'élément est suffisant selon l'analyse de sol, mais un déséquilibre minéral bloque l'assimilation par la plante. Par exemple, une carence en phosphore peut être induite par un excès d'acidité du sol.

Les symptômes de carences se manifestent de manière spécifique pour chaque espèce et chaque élément. Leur connaissance permet de diagnostiquer le déficit nutritionnel.

Notons que les carences en phosphore sont rarement observées sur des graminées établies en 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> année de production.

Les symptômes de carence en phosphore se manifestent d'abord par un rougissement sur les vieilles feuilles. Les carences graves peuvent aussi entraîner le dépérissement des extrémités des feuilles. La carence en potassium se traduit en premier sur les vieilles feuilles par un jaunissement de l'extrémité des feuilles, suivi par un brunissement et un dessèchement des bords de la feuilles.

La déficience en magnésium s'exprime par l'apparition de symptômes de chlorose entre les nervures des feuilles les plus âgées et peut entraîner des retards de croissance.

sans apport depuis la dernière fertilisation) ;

- La gestion des résidus de récolte du précédent.

En s'appuyant sur ces quatre critères, le COMIFER a élaboré des grilles de coefficients multiplicatifs des exportations. Ces grilles ont été simplifiées et adaptées pour les cultures fourragères porte-graine (**Tableaux I et II**).

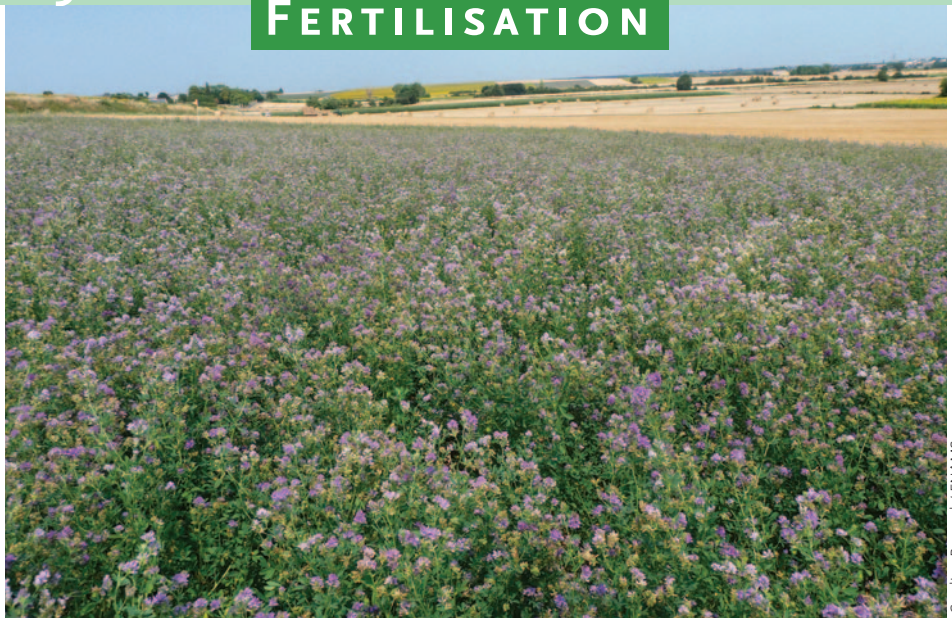
Le besoin en magnésium des graminées et légumineuses porte-graine, y compris avec une exploitation fourragère, est relativement faible : il avoisine au maximum 30 kg MgO/ha. Le plus souvent, la biodisponibilité de cet élément dans le sol est suffisante pour assurer une alimentation des cultures non limitante pour leur production.

Néanmoins, dans les sols à faible teneur en cet élément (teneur du sol en mg MgO/kg inférieure à 30 dans les sables, 60 dans les limons et 90 dans les argilo-calcaires d'après les recommandations d'ARVALIS-Institut du végétal), un apport se justifie pour satisfaire les besoins des cultures.

### Des exigences variables selon les cultures

Les cultures ont des sensibilités différentes à la carence en phosphore et en potassium qui se traduisent par des pertes de production d'autant plus importantes que l'espèce est sensible. Ceci est lié aux caractéristiques physiologiques de l'espèce et à son aptitude à prélever le phosphore et le potassium dans le sol, qui est à différencier de la notion d'exportation. Par exemple, la luzerne absorbe plus de potassium que la betterave pour autant la luzerne est considérée moins sensible à la carence en cet élément que la betterave.

Par extrapolation du classement de la luzerne et du ray-grass proposé par le COMIFER, on considère que les légumineuses fourragères porte-graine sont très exigeantes en phosphore et moyennement exigeantes en potasse, alors que les graminées fourragères porte-



Coraline Raveneil / FNAMS

**Les légumineuses fourragères porte-graine sont très exigeantes en phosphore et moyennement en potasse (ici une luzerne)**

### Tableaux I et II - Grilles de coefficients multiplicatifs des exportations pour les cultures fourragères porte-graine (adaptés des grilles du COMIFER)

Teneur du sol en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Teneur insuffisante ( < seuil de renforcement <sup>1</sup> )	Teneur suffisante	Teneur excessive ( > 2x seuil d'impasse <sup>2</sup> )
Légumineuses fourragères	3	1	0
Graminées fourragères	2	1	0

Teneur du sol en K <sub>2</sub> O	Teneur insuffisante ( < seuil de renforcement <sup>1</sup> )	Teneur suffisante	Teneur excessive ( > 2x seuil d'impasse <sup>2</sup> )
Graminées et légumineuses fourragères <sup>2</sup>		1	0

<sup>1</sup> *Seuil de renforcement : teneur au-dessous de laquelle il faut renforcer la fumure au-delà de la stricte compensation des exportations pour satisfaire les besoins de la culture.*

<sup>2</sup> *Seuil d'impasse : teneur au-dessus de laquelle il est possible de réaliser une impasse de fumure sans risque de diminution du rendement.*

graine sont moyennement exigeantes en phosphore et potasse.

### Indispensable analyse de sol

L'analyse de terre est indispensable pour suivre l'évolution de la fertilité chimique d'un sol. Le prélèvement tous les cinq ans doit être réalisé au même endroit de la parcelle, à la même profondeur et à la même période de l'année pour donner des résultats comparables. Pour connaître le niveau de disponibilité du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO dans le sol, les teneurs données par l'analyse de sol sont à interpréter en fonction des valeurs seuils (seuil d'impasse 1 et seuil de renforcement 2). Les valeurs seuils régionalisées, établies selon l'exigence des cultures et par grands



types de sol, sont disponibles sur le site d'Arvalis-infos.fr (voir SAVOIR +)

### Actualisation des références des exportations PKMg

Une importante collecte de mesures, menées durant quatre années sur les essais de la FNAMS, a permis d'actualiser et de compléter les références de mobilisation en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO des produits de récolte (coupe fourragère, semences) et des résidus de culture (**Tableau III**) pour six espèces fourragères porte-graine : dactyle, fétuque élevée, ray-grass anglais, ray-grass d'Italie, luzerne et trèfle violet.

Pour ces six espèces, les exportations, calculées sur la base du rendement de référence avec l'exportation de paille de récolte et une exploitation fourragère (hors ray-grass anglais), sont estimées en moyenne à :

- 25 à 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha
- 100 à 260 kg/ha de K<sub>2</sub>O
- et 10 à 30 kg MgO/ha.



**Tableau III - Calcul des exportations annuelles (coupe fourragère, paille de récolte et graines) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O et MgO pour les graminées et fourragères porte-graine**

Espèces	Éléments	Coupe fourragère			Pailles de récolte			Semences			Exportations totales (kg de l'élément/ha)		
		Teneur en kg/T de matière sèche	Rendement (tonnes de fourrage/ha)		Teneur en kg/T de matière sèche	Rendement (tonnes de paille de récolte/ha)		Teneur en kg/quintal de graines	Rendement (q/ha)				
Dactyle	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	X	...	+	3	X	...	+	1,0	X	...	= ...
	K <sub>2</sub> O	30	X	...	+	24	X	...	+	0,8	X	...	= ...
	MgO	3	X	...	+	2	X	...	+	0,2	X	...	= ...
Fétuque élevée	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	X	...	+	3	X	...	+	0,9	X	...	= ...
	K <sub>2</sub> O	21	X	...	+	28	X	...	+	0,8	X	...	= ...
	MgO	5	X	...	+	3	X	...	+	0,3	X	...	= ...
Ray-Grass Anglais	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Non concerné			+	3	X	...	+	0,9	X	...	= ...
	K <sub>2</sub> O	Non concerné			+	19	X	...	+	0,8	X	...	= ...
	MgO	Non concerné			+	1	X	...	+	0,3	X	...	= ...
Ray-Grass d'Italie	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6	X	...	+	4	X	...	+	0,8	X	...	= ...
	K <sub>2</sub> O	33	X	...	+	25	X	...	+	0,8	X	...	= ...
	MgO	2	X	...	+	2	X	...	+	0,2	X	...	= ...
Luzerne	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8	X	...	+	3	X	...	+	1,9	X	...	= ...
	K <sub>2</sub> O	31	X	...	+	18	X	...	+	1,3	X	...	= ...
	MgO	4	X	...	+	2	X	...	+	0,4	X	...	= ...
Trèfle violet	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	X	...	+	2	X	...	+	1,6	X	...	= ...
	K <sub>2</sub> O	31	X	...	+	21	X	...	+	1,5	X	...	= ...
	MgO	3	X	...	+	2	X	...	+	0,5	X	...	= ...

**Tableau IV - Exemple de calcul des exportations annuelles PKMg dans deux situations de production d'une fétuque élevée porte-graine : avec ou sans exploitation fourragère**

Hypothèse pour le cas 1 : 12 q/ha de rendement, pas de coupe fourragère, pas d'exportation des pailles de récolte

Hypothèse pour le cas 2 : 12 q/ha de rendement, 3 t/ha de coupe, 4 t/ha de pailles de récolte)

Fét. élevée porte-graine	Élément	Coupe fourragère			Pailles de récolte			Semences			Exportations totales en kg/ha (kg de l'élément/ha)		
		Teneur en kg/T de matière sèche	Rendement (tonnes de fourrage/ha)		Teneur en kg/T de matière sèche	Rendement (tonnes de paille de récolte/ha)		Teneur en kg/quintal de graines	Rendement (q/ha)				
<b>CAS 1 : rendement graine uniquement</b>													
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Non concerné			Non concerné			0,9	X	12	= 11		
	K <sub>2</sub> O	Non concerné			Non concerné			0,8	X	12	= 10		
	MgO	Non concerné			Non concerné			0,3	X	12	= 4		
<b>CAS 2 : coupe fourragère + rendement graines + exportation des pailles de récolte</b>													
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	X	3	+	3	X	4	+	0,9	X	12	= 38
	K <sub>2</sub> O	21	X	3	+	28	X	4	+	0,8	X	12	= 185
	MgO	5	X	3	+	3	X	4	+	0,3	X	12	= 31

### Cas pratique

Prenons l'exemple d'une fétuque élevée avec un objectif de rendement de 12 q/ha (Tableau IV). La culture est implantée en Pays de la Loire dans un sol limoneux bien pourvu en potassium (150 mg K<sub>2</sub>O/kg > seuil d'impasse de 120) et magnésium (120 MgO mg/kg > seuil d'impasse de 60) mais avec une teneur faible en phosphore (15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg < seuil de renforcement de 50).

● **Cas 1** : sans aucune exploitation fourragère (pas de coupe d'automne, pas d'exportation des pailles

de récolte), les exportations se limitent à 11 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10 kg/ha de K<sub>2</sub>O et 4 kg/ha de MgO

● **Cas 2** : pour le même rendement grainier en situation d'exportation de 4 tonnes de paille après récolte et de 3 tonnes lors d'une coupe d'automne, le total s'élèverait à 38 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 185 kg/ha de K<sub>2</sub>O et 31 kg/ha de MgO.

Il convient ensuite d'appliquer les coefficients multiplicatifs des exportations P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O. Dans notre exemple, le sol étant correctement pourvu en potassium, l'apport aura pour objectif de compenser les exportations de la culture



FNAMS

(soit un apport de 10 kg K<sub>2</sub>O dans le cas 1 et 185 kg K<sub>2</sub>O dans le cas 2). Une fertilisation de renforcement (supérieure aux exportations de la culture) ne se justifie que dans les sols pauvres. Nous sommes dans cette situation pour le phosphore. Pour corriger la faible teneur du sol, il faudra apporter deux fois les exportations de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : soit 22 kg/ha dans le cas 1 et 76 kg/ha dans le cas 2.

Enfin, la biodisponibilité du sol en magnésium est largement suffisante pour couvrir les exportations de la culture et nécessite pas d'apport d'engrais.

Lorsque les cultures sont conduites sur plusieurs années de production, le calcul de la fertilisation concernera la durée totale de production (teneur de l'élément identique quel que soit l'âge de la culture). Les apports seront faits en totalité lors de l'implantation, ou fractionnés au cours des années (attention pour le potassium la dose est plafonnée à 400 kg K<sub>2</sub>O/ha/an). Néanmoins, en sol à faibles teneurs, un apport annuel de fertilisant est recommandé. ■

### LES 15<sup>e</sup> RENCONTRES DU COMIFER

Elles se tiendront les 24 et 25 novembre 2021 à Clermont-Ferrand. Cet événement permet de partager les dernières avancées dans le domaine de la fertilisation au sens large. A cette occasion, la FNAMS exposera un poster sur le raisonnement de la fertilisation PKMg des cultures fourragères porte-graine.

### SAVOIR +

- De nombreuses informations sont disponibles en accès libre sur le site du COMIFER <https://comifer.asso.fr>, dans la rubrique « Publications ». Vous y trouverez toutes les brochures, co-éditions, supports pédagogiques notamment.
- La brochure « la fertilisation P-K-Mg : les bases du raisonnement » ainsi que les grilles de calculs sont téléchargeables sur le site du COMIFER (<https://comifer.asso.fr/fr/publications/les-brochures.html>)
- Valeurs seuils PK régionalisées par grands types de sol disponibles sur : [https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/96/3d/2b/01/seuils\\_pk\\_regionaux\\_v4\\_1781405251401043340.pdf](https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/96/3d/2b/01/seuils_pk_regionaux_v4_1781405251401043340.pdf)



Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée

### LE COMIFER

#### Bulletin Semences : Pouvez-vous nous présenter vos activités ?

**Lionel Jordan-Meille, président du COMIFER :** Je suis enseignant-chercheur à Bordeaux Sciences Agro et je participe aux enseignements relatifs à la nutrition hydrique et minérale des plantes. C'est une discipline où les bases restent assez stables au cours du temps, mais il faut toujours lutter contre l'érosion des connaissances. Donc asséner certains principes qui peuvent sembler triviaux, comme le fait de calculer des bilans, remplacer les quantités exportées, limiter les pertes environnementales, et former sur les outils adéquats.

Et puis, il y a des questions émergentes, désormais incontournables, sur l'efficacité de nouveaux types d'intrants, la circularité de l'utilisation des minéraux, la fertilisation en agriculture de conservation, la contribution des processus microbiologiques dans l'évolution de la biodisponibilité des minéraux dans les sols, etc.

J'effectue ma recherche à l'INRAE, au sein de l'Unité mixte de recherche "Interactions Sols-Plantes-Atmosphère", et je travaille particulièrement sur la nutrition potassique des plantes, en relation avec leur statut hydrique.

#### Qu'est-ce qu'est le COMIFER : son organisation, ses missions et ses activités ?

Si le COMIFER n'existait pas, il faudrait vraiment l'inventer ! Le COMIFER est doté du statut associatif. Il a été créé en 1980, face au besoin de structurer les connaissances et de faire évoluer les pratiques en matière de fertilisation, dans un environnement agricole où des pratiques raisonnées s'imposaient face à des enjeux techniques, économiques et environnementaux.

Le COMIFER emploie aujourd'hui deux salariées, mais il faut souligner l'énorme travail accompli par les "bénévoles" issus des trois collèges qui font vivre l'association. Nous comptons aujourd'hui près de 300 adhérents.

Le COMIFER est un lieu d'échanges et de partage, de débats, d'adoption de règles relatives au maintien de la fertilité des sols et à la gestion de la nutrition des cultures, quels que soient les systèmes de culture. Le COMIFER est la courroie de transmission entre le milieu de la recherche en nutrition des plantes et les acteurs de terrain, impliqués au quotidien sur le raisonnement de la fertilisation au niveau des exploitations agricoles.

L'association s'articule autour de groupes de travail. Par exemple, il y a un groupe qui apporte un appui technique au Ministère pour la mise en œuvre de la directive Nitrates, en lien avec un réseau mixte technologique, un groupe Azote et Soufre, un groupe Phosphore Potassium Magnésium, un groupe centré sur le statut acido-basique, un autre sur la fertilisation par les produits résiduels organiques. Enfin, un nouveau groupe, dédié à la fertilisation organique et biologique des sols, vient d'être créé.

#### Le raisonnement de la fertilisation phospho-potassique actuellement réalisé en France s'appuie essentiellement sur des principes énoncés par le COMIFER. Quand et comment s'est construite cette méthode de raisonnement ? Quelles sont les évolutions envisagées ? Et qu'en est-il du raisonnement de la fertilisation magnésienne ?

Les grands principes de la méthode de raisonnement de la fertilisation PKMg datent de 1993 (« Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation P-K »). La « grille COMIFER » a ensuite un peu évolué, avec notamment une mise à jour en 2007 des teneurs en PKMg des récoltes. La version que nous utilisons aujourd'hui date de 2009.

En 2019, nous avons actualisé et édité La fertilisation PKMg – les bases du raisonnement, en nous appuyant sur le Guide de la fertilisation raisonnée paru en 2017. Au vu de ce que font nos voisins européens, nous appliquons globalement les mêmes principes : diagnostic de fertilité à l'aide d'une extraction chimique partielle, comparaison à des valeurs-seuils, préconisation exprimée en fonction des quantités exportées par les cultures.

Nous sommes actuellement en train de travailler sur une base de données d'essais de longue durée enrichie de données récentes afin de rénover notre grille. Nous effectuons à la fois un travail méthodologique, et un travail de calcul de nouvelles références. Ceci fera de nos références les plus renouvelées d'Europe, les mieux tracées aussi, permettant potentiellement à notre profession de prendre la tête d'un mouvement de convergence des pratiques de fertilisation, comme le souhaite la Commission Européenne.

Concernant le Mg, nous sommes en train de réunir les résultats d'essais, mais il est vrai que leur nombre reste encore faible au regard de ceux concernant le P, et dans une moindre mesure le K.