

Fertilisation phospho-potassique et magnésique

Pourquoi investir dans la fertilité de son sol ?

Il existe différents types d'intrants :

- les intrants à « **effet de seuil** », basés sur le respect de seuils d'intervention. Selon le contexte, leur réponse peut être nulle ou très forte. Par exemple : les insecticides ou les régulateurs de croissance ;
- les intrants à « **fonction de production** » ont une action directe sur le rendement. Leur bonne utilisation permet d'optimiser la marge brute en évitant les dépenses excessives. Par exemple : les semences, l'azote et les fongicides ;
- les intrants « **patrimoine** » dont l'impact sur le rendement s'exprime sur le long terme. Ils demandent à être gérés tout au long de la rotation. Par exemple : la fumure de fond (phosphore, potasse, magnésium), le chaulage.

Analyser ses sols régulièrement pour piloter le chaulage avec la Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire en partenariat avec le Laboratoire CESAR

Le raisonnement des itinéraires techniques se focalise essentiellement sur les deux premiers types d'intrants. Or, il est important de ne pas oublier la gestion de son « Capital Sol » (3^{ème} type d'intrant) pour maintenir une bonne productivité des parcelles.

Cela comprend plusieurs paramètres :

- Soigner l'implantation de ses cultures pour permettre une bonne exploration racinaire et donc une bonne valorisation des réserves nutritives du sol par les plantes ;
- **Garantir la fertilité chimique du sol en suivant différents paramètres (bon rapport Ca/CEC, pH adapté, bonne teneur en macro et oligo-éléments, ainsi qu'en matières organiques) ;**
- Favoriser la fertilité biologique. L'activité des micro-organismes est essentielle au bon fonctionnement des sols (dégradation des matières organiques, fournitures d'éléments minéraux, recyclage, ...).

Focus sur la fertilisation en phosphore, potasse et magnésium

La fertilisation phospho-potassique et magnésique est un élément clé de l'itinéraire technique. En effet, si le sol est suffisamment pourvu, il est possible de réaliser une impasse sur les cultures peu exigeantes et donc de diminuer ses charges. Au contraire, un apport sur un sol carencé va permettre d'améliorer les rendements. Il est donc important d'être en mesure de raisonner ses apports.

- 1 Rôle de ces éléments
- 2 Raisonnement de la fertilisation phospho-potassique
- 3 Calcul de la dose PK à apporter – Méthode Comifer
- 4 Raisonnement et calcul de la dose de magnésium
- 5 Période d'apport
- 6 Formes d'apport
- 7 Pistes pour utiliser moins de PK : améliorer l'efficacité des apports
- 8 Identifier les carences en cours de cycle

Rôle de ces éléments

Phosphore

Dans la plante	Dans le sol
<p>Le phosphore représente de 0,5 à 1 % de la matière sèche des végétaux. Il est présent dans les tissus sous forme d'ions phosphates et est souvent associé dans des molécules organiques situées au cœur du fonctionnement des cellules.</p> <p>Cet élément intervient dans tous les processus essentiels de la synthèse de matière organique végétale :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Support du patrimoine génétique (acides nucléiques), ■ Rôle dans la synthèse des sucres et des protéines (réactions enzymatiques), ■ Véhicule de l'énergie en particulier sous forme d'ATP (adénosine triphosphate), ■ Composant de la structure des membranes cellulaires avec les phospholipides, ■ Stimule la croissance des jeunes racines. <p>A la récolte, le phosphore se retrouve principalement dans les organes de reproduction (grain) tandis que les organes végétatifs ont une teneur nettement plus faible.</p> <p>Le phosphore est toujours présent en proportion plus importante dans les tissus jeunes.</p>	<p>Le phosphore présente une faible mobilité : 2 à 3 mm. D'où l'importance d'un bon système racinaire.</p> <p>Il est essentiellement présent dans les sols sous forme d'ortho phosphates et seulement 0,1 % du phosphore total est libre dans la solution du sol. Cet élément est concentré dans l'horizon de surface (0 à 20-25 cm). Le phosphore se trouve en général associé soit à la matière organique du sol, soit à la fraction minérale : Les principaux cations de liaison entre les ions phosphates et la phase solide du sol sont le fer et le calcium. Le phosphore assimilable est sous forme d'anions et est fixé soit directement sur le complexe argilo-humique, soit sur des oxyhydroxydes de fer, soit précipité et donc bloqué avec le calcaire « actif ». Ces dernières liaisons, très solides, conduisent, avec le temps, à rendre moins disponible le phosphore pour la plante (phénomène de « vieillissement »).</p> <p>La nutrition des plantes se fait uniquement sous forme de $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-}. Le phosphore organique doit donc subir une dégradation par les bactéries et/ou les champignons du sol afin d'être utilisable par les plantes. Il peut y avoir des pertes par érosion du sol.</p> <p>Les anions de phosphore sont très sensibles au lessivage (ex : eutrophisation).</p>

Potassium

Dans la plante	Dans le sol
<p>La proportion de potassium dans la plante représente environ 3 % de la matière sèche végétale.</p> <p>Il joue de nombreux rôles essentiels dans la plante :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Régulation osmotique ; ■ Activation de la photosynthèse et de la formation de glucides ; ■ Contribution à la synthèse des protéines et à l'élaboration des lipides ; ■ Limitation de la transpiration et augmentation de la résistance à la sécheresse ; ■ Accroissement du développement des racines ; ■ Amélioration de la rigidité des tissus. <p>Le potassium se retrouve principalement dans les pailles : d'où l'importance de la restitution ou pas des pailles ; des récoltes de plantes entières ou des récoltes de grains.</p> <p>Rq : à noter que la potasse se libère rapidement dès le début de dégradation des pailles.</p>	<p>Le potassium peut se trouver dans le sol sous trois formes différentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Dans la solution du sol à l'état d'ions K^+ que la plante pourra alors directement utiliser. ■ Fixé sur le complexe argilo-humique (CAH) ou sur les argiles potassiques libres du sol sous forme de cations K^+. Il existe un équilibre entre la solution du sol et le potassium retenu sur le CAH. Lorsque la solution du sol s'appauvrit en potassium, le CAH libère alors des cations K^+ pour rétablir un certain équilibre. Ordre de grandeur dans un sol correctement fourni (ni excès, ni carence) : K^+ représente environ 2 à 5 % de la CEC. ■ Prisonnier entre les feuillettes d'argile (illite), on retrouve le potassium dégradé qui pourra être libéré lorsque la fraction assimilable se sera appauvrie. Néanmoins le passage de cette forme dégradée au potassium assimilable est un processus très lent. <p>Elément qui peut être lessivé. La forme organique est également importante.</p> <p>La plante prélève ensuite directement le potassium dans la solution du sol sous forme d'ions K^+.</p>

Magnésium

Dans la plante	Dans le sol
Le magnésium est un constituant de la paroi cellulaire et entre dans la composition de la chlorophylle. Il permet aussi aux plantes de transférer le phosphore vers les grains et de synthétiser sucres et protéines, ainsi qu'une meilleure assimilation du phosphore par les plantes.	Le magnésium fait partie des macroéléments du sol (comme le phosphore et le potassium). Il est, après le calcium, le second cation qui sature le complexe argilo-humique (voir aussi la partie chaulage). Il est sensible au lessivage.

Raisonnement de la fertilisation phospho-potassique

Bases de raisonnement

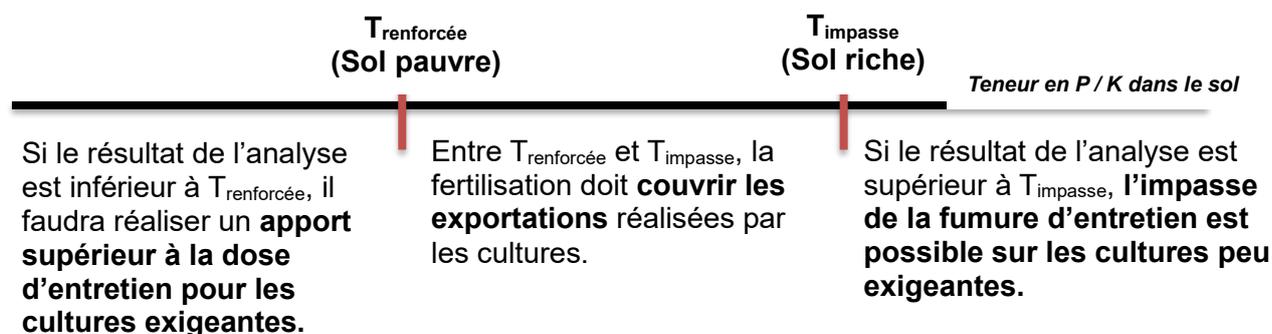
Les règles de raisonnement de la fertilisation phosphatée et potassique ont été définies en 1999 par le COMIFER (Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) et sont mises à jour régulièrement. Le calcul de la dose est réalisé pour chaque culture selon :

- Les analyses de sol ;
- L'exigence de la culture ;
- Les exportations de la culture (objectif de rendement x teneur dans les exportations) ;
- Le passé récent de fertilisation (impasses réalisées les années antérieures) ;
- La gestion des résidus de culture : exportation ou enfouissement (principalement pour la potasse).

Analyses de sol

Les valeurs données par l'analyse vont permettre de définir si le sol est plutôt riche ou pauvre en phosphore et en potassium.

La valeur donnée par l'analyse est comparée aux valeurs T_{impasse} (sol riche) et $T_{\text{renforcée}}$ (sol pauvre) qui sont définies par type de sol et suivant la méthode d'analyse dans les tableaux ci-dessous.



Pour les prairies : les analyses de sol sont peu adaptées, il est préférable de réaliser des analyses de fourrage.

Exigence des cultures

Elle se définit comme la **capacité à supporter une absence d'apport de phosphore ou de potasse**. De nombreux essais PK longue durée ont permis de classer les cultures principales selon trois classes (très exigeantes, moyennement exigeantes et peu exigeantes).

Dans nos rotations classiques, colza, betterave et luzerne sont les plantes les plus exigeantes en phosphore. Concernant la potasse, les têtes d'assolement sont moyennement exigeantes (à l'exception des betteraves, très exigeantes). Le blé, lorsqu'il est assolé est quant à lui peu exigeant aussi bien en P qu'en K. En revanche, les blés / blés sont plus sensibles au piétin échaudage et donc avec un système racinaire moins performant pour « capter » le phosphore.

	Phosphore (P2O5)	Potasse (K2O)
Très exigeantes	Betterave, colza, luzerne, pomme de terre	Betterave, pomme de terre
Moyennement exigeantes	Blé sur blé, blé dur, maïs ensilage, orge, pois, ray-grass, sorgho	Colza, luzerne, maïs, pois, ray-grass, soja, tournesol
Peu exigeantes	Avoine, blé, maïs grain, seigle, soja, tournesol	Avoine, blé, blé dur, orge, seigle, sorgho

Source : COMIFER

Remarques :

Le maïs a une exigence différente en phosphore selon qu'il soit récolté en ensilage (moyennement exigeant) ou maïs grain (peu exigeant).

La luzerne est une culture très exigeante en phosphore et moyennement exigeante en potasse, il ne faut donc pas négliger la fertilisation phospho-potassique sur cette culture.

Passé récent de fertilisation

Le potassium et le phosphore, apportés par des engrais solubles évoluent avec le temps vers des états de moins en moins disponibles. La vitesse de transformation vers ces états est très variable suivant le type de sol et l'engrais utilisé. Cependant, ces évolutions, sous l'action de multiples facteurs tels que le climat, l'activité biologique du sol, l'activité des racines... sont réversibles.

C'est pourquoi, **il est conseillé de ne pas réaliser plus de deux années d'impasse de fertilisation P K.**

Gestion des résidus de la culture précédente

Phosphore (P2O5)	Potasse (K2O)
Lorsque l'espèce est cultivée pour ses grains (blé, maïs grain, colza, tournesol...), la récolte entraîne une exportation conséquente de phosphore (la majorité du phosphore prélevé par la culture est présente dans les grains).	La plus grande partie du potassium (jusqu'à 90 %) se retrouve à la récolte dans les tiges et les feuilles sous forme très soluble. Les premières phases de décomposition du résidu libèrent ce potassium sous une forme identique à celle d'un engrais potassique (K+). Les exportations dans le cadre d'une culture « grains » sont donc relativement faibles. Attention aux situations avec export des pailles : des pailles de blé restituées libèrent par exemple 100 kg/ha de K ₂ O.

Calcul de la dose PK à apporter - Méthode COMIFER

Potassium

TENEURS SEUILS EN POTASSE (EN ‰¹) PAR TYPE DE SOL ET SELON L'EXIGENCE DES CULTURES

	T _{renforcée}	T _{impasse - 10%}	T _{impasse}	T _{impasse + 10%}	T _{impasse X2}	T _{impasse X3}
Argilo calcaires superficiels	0,30	0,41	0,45	0,50	0,90	1,35
	0,30	0,36	0,40	0,44	0,80	1,20
	0,15	0,27	0,30	0,33	0,60	0,90
Argilo calcaires profonds	0,25	0,27	0,30	0,33	0,60	0,90
	0,20	0,27	0,30	0,33	0,60	0,90
	0,10	0,16	0,18	0,20	0,36	0,54
Limons et argiles profonds	0,20	0,27	0,30	0,33	0,60	0,90
	0,15	0,20	0,22	0,24	0,44	0,66
	0,08	0,14	0,15	0,17	0,30	0,45
Limons battants	0,17	0,27	0,30	0,33	0,60	0,90
	0,12	0,16	0,18	0,20	0,36	0,54
	0,08	0,14	0,15	0,17	0,30	0,45
Sols sablo-graveleux	0,15	0,18	0,20	0,22	0,40	0,60
	0,07	0,11	0,12	0,13	0,24	0,36
	0,06	0,09	0,10	0,11	0,20	0,30
Alluvions argileuses	0,25	0,41	0,45	0,50	0,90	1,35
	0,20	0,26	0,29	0,32	0,58	0,87
	0,15	0,18	0,20	0,22	0,40	0,60

xxx = culture exigeante

xxx = culture moyennement exigeante

xxx = culture peu exigeante

¹ : 0,1 ‰ = 100 mg/kg = 100 ppm

Source : COMIFER / Arvalis Institut du végétal

Des impasses sont possibles :

- A partir de la valeur seuil T_{impasse}, pour les cultures peu exigeantes ;
- A partir des valeurs T_{impasse + 10 %} et T_{impasse X2}, pour les cultures moyennement exigeantes ;
- A partir du seuil T_{impasse X3}, les impasses peuvent avoir lieu plus de 2 années successives.

DOSES DE POTASSIUM A APPORTER (kg/ha)

Exemple de valeurs seuils Limos et argiles profondes Culture peu exigeante			T renforcée	T impasse -10 %	T impasse	T impasse + 10 %	T impasse X2	T impasse X3	
			0,08 ‰	0,14 ‰	0,15 ‰	0,17 ‰	0,3 ‰	0,45 ‰	
	Devenir des résidus de la culture à fertiliser	Nombre d'années sans apport depuis la dernière fertilisation							
SOJA TOURNE- SOL	Enfouis	0 an	60	45	40	0	0	0	0
		1 an	80	55	50	40	20	0	0
		2 ans et plus	80	65	55	45	40	30	0
MAÏS GRAIN	Enfouis	0 an	65 -95	50 -70	40 -60	0	0	0	0
		1 an	90 -130	55 -85	50 -70	40 -60	30	0	0
		2 ans et plus	90 -130	65 -95	60 -85	50 -70	40 -60	30 -50	0
BLE	Enfouis	0 an	35 -45	30 -40	30 -40	0	0	0	0
		1 an	35 -45	30 -40	30 -40	0	0	0	0
		2 ans et plus	35 -45	35 -45	30 -40	30 -40	30 -40	0	0
	Exportés	0 an	70 -90	65 -85	65 -85	35 -50	35 -50	35 -50	35 -50
		1 an	70 -90	70 -90	65 -85	35 -50	35 -50	35 -50	35 -50
		2 ans et plus	70 -90	70 -90	65 -85	35 -50	65 -85	35 -50	35 -50
ORGE	Enfouis	0 an	40 -50	30 -40	35 -40	0	0	0	0
		1 an	40 -50	35 -45	35 -40	0	0	0	0
		2 ans et plus	40 -50	40 -50	35 -40	35 -40	35 -40	0	0
	Exportés	0 an	90 -100	85 -90	85 -90	50 -55	50 -55	50 -55	50 -55
		1 an	90 -100	85 -90	85 -90	50 -55	50 -55	50 -55	50 -55
		2 ans et plus	90 -100	90 -100	85 -90	85 -90	85 -90	50 -55	50 -55
COLZA	Enfouis	0 an	35 -50	25 -40	20 -30	0	0	0	0
		1 an	50 -70	30 -45	25 -40	0 -30	0	0	0
		2 ans et plus	50 -70	35 -50	30 -45	30 -40	30	0	0
	Exportés	0 an	60 -75	50 -60	45 -55	30	30	30	30
		1 an	70 -90	55 -70	50 -60	35 -40	35 -40	30	30
		2 ans et plus	70 -90	60 -75	55 -70	45 -55	45 -55	40 -50	30
POIS	Enfouis	0 an	65	50	40	0	0	0	0
		> 1 an	90	55 -65	45 -55	40 -50	20 -40	0 -30	0
	Exportés	0 an	100	85	80	40	40	40	40
		1 an	120	90	85	75	55	40	40
		2 ans et plus	120	100	90	85	75	75	40

Source : COMIFER

Le niveau de fertilisation est lié aux exportations qui elles-mêmes dépendent du rendement.
Retenir les doses fortes pour les sols à fort potentiel (blé > 75 q/ha) et les doses faibles pour les sols superficiels (blé < 60 q/ha). Prendre des valeurs intermédiaires pour des potentiels compris entre 65 et 75 q/ha.

Phosphore

TENEUR SEUILS EN PHOSPHORE (EN ‰¹) PAR TYPE DE SOL, SELON L'EXIGENCE DES CULTURES ET SELON LA METHODE D'ANALYSE (Olsen ou Joret Hébert)

	T renforcée		T impasse - 10%		T impasse		T impasse + 10%		T impasse X2		T impasse X3	
	Olsen	JH	Olsen	JH	Olsen	JH	Olsen	JH	Olsen	JH	Olsen	JH
Argilo calcaires sup.	0,06	0,14	0,08	0,18	0,09	0,20	0,1	0,22	0,18	0,40	0,27	0,60
	0,06	0,08	0,08	0,16	0,09	0,18	0,1	0,20	0,18	0,36	0,27	0,54
	0,03	0,07	0,07	0,13	0,08	0,15	0,09	0,16	0,16	0,30	0,24	0,45
Argilo calcaires profonds	0,06	0,12	0,08	0,16	0,09	0,18	0,1	0,2	0,18	0,36	0,27	0,54
	0,06	0,08	0,08	0,11	0,09	0,12	0,1	0,13	0,18	0,24	0,27	0,36
	0,03	0,05	0,07	0,11	0,08	0,12	0,09	0,13	0,16	0,24	0,24	0,36
Limons et argiles profonds	0,05	0,08	0,07	0,17	0,08	0,19	0,09	0,21	0,16	0,38	0,24	0,57
	0,05	0,08	0,07	0,12	0,08	0,13	0,09	0,14	0,16	0,26	0,24	0,39
	0,02	0,07	0,06	0,11	0,07	0,12	0,08	0,13	0,14	0,24	0,21	0,36
Limons battants	0,05	0,10	0,07	0,14	0,08	0,16	0,09	0,18	0,16	0,32	0,24	0,48
	0,05	0,10	0,07	0,14	0,08	0,16	0,09	0,18	0,16	0,32	0,24	0,48
	0,02	0,07	0,06	0,14	0,07	0,15	0,08	0,16	0,14	0,30	0,21	0,45
Sols sablo-graveleux	0,05	0,06	0,07	0,14	0,08	0,16	0,09	0,18	0,16	0,32	0,24	0,48
	0,05	0,06	0,07	0,14	0,08	0,16	0,09	0,18	0,16	0,32	0,24	0,48
	0,02	0,04	0,06	0,14	0,07	0,13	0,08	0,14	0,14	0,26	0,21	0,39
Alluvions argileux	0,05	0,10	0,07	0,14	0,08	0,16	0,09	0,18	0,16	0,32	0,24	0,48
	0,05	0,10	0,07	0,14	0,08	0,16	0,09	0,18	0,16	0,32	0,24	0,48
	0,02	0,07	0,06	0,14	0,07	0,15	0,08	0,17	0,14	0,30	0,21	0,45

xxx = culture exigeante

xxx = culture moyennement exigeante

xxx = culture peu exigeante

¹ : 0,1 ‰ = 100 mg/kg = 100 ppm

Source : COMIFER / Arvalis Institut du végétal

DOSES DE PHOSPHORE A APPORTER (kg/ha)

	T renforcée	T impasse -10%	T impasse	T impasse + 10%	T impasse X2	T impasse X3		
<i>Exemple de valeurs seuils : Limens et argiles profondes Culture peu exigeante</i>	Olsen JH	0,02 ‰ 0,07 ‰	0,06 ‰ 0,11 ‰	0,07 ‰ 0,12 ‰	0,08 ‰ 0,13 ‰	0,14 ‰ 0,24 ‰	0,21 ‰ 0,36 ‰	
CULTURE	Nombre d'années sans apport depuis la dernière fertilisation							
COLZA	0 an	70 - 90	45 - 65	35 - 50	30 - 40	25 - 35	0	0
	1 an	100 - 140	60 - 85	45 - 60	35 - 50	30 - 40	0	0
	2 ans et plus	115 - 160	85 - 110	60 - 85	45 - 60	35 - 50	25 - 35	0
BLE / BLE ORGE	0 an	65 - 75	40 - 50	40 - 50	0	0	0	0
	1 an	75 - 85	50 - 60	40 - 50	40 - 50	35 - 40	0	0
	2 ans et plus	85 - 95	70 - 80	60 - 70	50 - 60	40 - 50	25 - 30	0
POIS	0 an	35 - 50	25 - 30	25 - 30	0	0	0	0
	1 an	40 - 60	30 - 35	25 - 30	25 - 30	20 - 25	0	0
	2 ans et plus	45 - 65	40 - 50	35 - 45	30 - 35	25 - 30	15 - 20	0
TOURNESOL	0 an	40 - 55	30 - 40	25 - 35	0	0	0	0
	1 an	45 - 65	30 - 40	30 - 40	0	0	0	0
	2 ans et plus	45 - 65	35 - 50	30 - 40	30 - 40	25 - 35	0	0
SOJA	0 an	35	25	20	0	0	0	0
	1 an	45	25	25	0	0	0	0
	2 ans et plus	45	35	25	25	20	0	0
MAÏS ENSILAGE	0 an	80	50	50	0	0	0	0
	1 an	90	60	50	50	40	0	0
	2 ans et plus	100	80	70	60	50	30	0
MAÏS GRAIN	0 an	60 - 90	45 - 70	35 - 60	0	0	0	0
	1 an	70 - 110	45 - 70	45 - 70	0	0	0	0
	2 ans et plus	70 - 110	55 - 85	45 - 70	45 - 70	35 - 60	0	0
BLE TENDRE	0 an	55 - 65	40 - 50	35 - 40	0	0	0	0
	1 an	65 - 80	40 - 50	40 - 50	0	0	0	0
	2 ans et plus	65 - 80	50 - 60	40 - 50	40 - 50	35 - 40	0	0

Source : COMIFER

Le niveau de fertilisation est lié aux exportations qui elles-mêmes dépendent du rendement. Retenir les doses fortes pour les sols à fort potentiel (blé > 75 q/ha) et les doses faibles pour les sols superficiels (blé < 60 q/ha). Prendre des valeurs intermédiaires pour des potentiels compris entre 65 et 75 q/ha.

Pour le maïs, les doses faibles correspondent aux situations non irriguées et les doses fortes aux situations irriguées.

Exemple d'un colza en argilo calcaire profond avec impasse sur le blé précédent et teneur Phosphore Olsen = 0,12 ‰.

La teneur est comprise entre $T_{\text{impasse}} + 10\%$ et $T_{\text{impasse}} \times 2$.

Le conseil pour un colza à fort potentiel est d'apporter 40 u de Phosphore.

Raisonnement et calcul de la dose de magnésium

La teneur en MgO est l'unique critère à prendre en compte pour le raisonnement des apports de magnésium. La décision d'apporter ou non repose sur la comparaison de la valeur mesurée à une valeur seuil. Si la teneur de la parcelle est inférieure au seuil, il existe un risque de carence et un apport est conseillé.

Cette valeur seuil dépend du type de sol et notamment de la CEC (capacité d'échange cationique) du sol :

CEC du sol	3 à 6	7 à 12	>15
Type de sol	Sables	Limons	Argiles/Argilo-calcaire
Teneur seuil MgO (en ‰)	0,03	0,06	0,08

Source : Arvalis Institut du végétal

Si le taux de magnésium est insuffisant, vérifier aussi que le ratio K_2O/MgO est bien inférieur à 2,5. Un excès de potassium est un facteur aggravant des carences en magnésium.

Dans notre région, les carences en magnésium sont rares.

Lorsque l'apport est nécessaire, les doses à apporter dépendent de l'espèce considérée et du mode d'apport :

- 30 kg/ha de MgO pour les céréales à paille et le maïs (en végétation) ;
- 50 kg/ha de MgO pour le colza, le pois, le tournesol, les betteraves et la luzerne (en végétation) ;

MgO est aussi un élément possédant une valeur neutralisante. Il est à prendre en compte lors de la **correction du pH** (voir bulletin chaulage).

Périodes d'apport

Phosphore et Potasse

Les besoins de la plante sont plus élevés dans les premières phases végétatives, les éléments sont en effet nécessaires pour stimuler la croissance racinaire. D'autre part, avec le temps le phosphore soluble apporté par les engrais a tendance à évoluer vers des formes non assimilables (surtout en sol calcaire). La potasse quant à elle, se fixe sur les argiles et peut être lessivée dans les sols filtrants.

Les apports doivent donc être réalisés de préférence au plus près du semis pour les cultures exigeantes et avant début tallage pour les céréales implantées dans des sols à faible teneur en P et K.

Par ailleurs, il est conseillé de ne pas réaliser plus de deux années d'impasse de fertilisation P K.

Par exemple : pour le tournesol, il est préférable d'incorporer la fumure de fond juste avant le semis, plutôt que de réaliser l'apport sur les chaumes du précédent.

Par la suite, l'exploration racinaire est normalement assez importante pour subvenir seule aux besoins de la plante.

L'apport au semis est d'autant plus important que le sol est faiblement pourvu. Pour ce qui est des sols pourvus ou riches, cet apport peut être indifféremment apporté à l'automne ou à la sortie de l'hiver.

Magnésium

Lorsque l'apport est nécessaire, deux stratégies peuvent être envisagées :

- Couplé au chaulage en interculture pour les sols acides ($pH < 6$), à l'échelle de la rotation (minimum 3 ans en sol sableux acide et 5 ans ailleurs)
- En sortie d'hiver pour les autres types de sol (et notamment les sols filtrants), de façon annuelle.

Formes d'apport

Phosphore

Le choix du **type de phosphate apporté est parfois plus important que la quantité totale apportée.**

- Les **superphosphates**, les **phosphates d'ammonium** ainsi que les **phosphates bi calciques** sont utilisables dans tous les types de sols. Ils sont solubles soit dans l'eau soit dans le citrate d'ammonium alcalin (*voir sur l'étiquette*).
 - Les mentions du type : "soluble dans l'eau" ou "soluble dans le citrate d'ammonium neutre" signifient que le phosphore est sous forme soluble. Cela concerne le superphosphate, le phosphate d'ammonium (18-46) et le phosphate bi calcique.
 - Par contre, les engrais portant les mentions "soluble dans le citrate d'ammonium alcalin (Joulie)" ou "soluble dans l'acide citrique ou formique" contiennent des formes de phosphore peu solubles.
- ➔ Utilisables dans tous les types de sols.
- Les **scories** sont à **réserver aux sols acides** qui seront plus en mesure de solubiliser les phosphates qu'elles contiennent.
- L'utilisation de **phosphates alumino-calciques** est délicate et les essais montrent souvent des **résultats contradictoires**. Ils sont dans tous les cas **déconseillés en sol acide**.
- Les **phosphates naturels** sont quant à eux à **déconseiller** dans la mesure du possible. En effet, la libération de phosphore dans la solution du sol de ces types d'engrais est trop faible et trop lente.

Potasse

Trois formes chimiques sont commercialisées :

- le **chlorure de potassium** (60 % de K_2O) : convient à tous les types de sols (sauf cultures sensibles au chlore : haricot, lin) ;
- le **sulfate de potassium** (50 % de K_2O et 43 % de SO_3) : polyvalence potassium / soufre qui peut être intéressante dans les rotations à base de crucifères ;
- le **nitrate de potassium** (44 % de K_2O et 13 % d'azote nitrique) : très soluble. Ne pas oublier de tenir compte des apports simultanés d'azote dans le plan de fertilisation.

Le **Patentkali** est un sulfate de potassium et de magnésium dosant 30 % de K_2O , 45 % de SO_3 et 10 % de MgO .

Quelle que soit la forme, ces engrais se dissocient très rapidement dans la solution du sol et sont ensuite disponibles immédiatement pour la nutrition de la plante.

La potasse contenue dans les pailles est disponible de la même façon, soit très rapidement après moisson.

Magnésium

La forme de l'engrais diffère selon la période d'apport :

- **Amendement calcaire riche en magnésie, type dolomie ou chaux vive magnésienne**, lors d'un apport couplé au chaulage (sol acide). Les quantités de MgO apportées sont alors importantes, ce qui permet de lever le risque de carence pendant plusieurs années.
- **Sulfate de magnésie** et par exemple **kiesérite** (26 % de MgO et 52 % de SO_3) pour les apports annuels (sol calcaire). Les sulfates de magnésie utilisés en foliaire ne devront pas dépasser 10 % de la bouillie pour éviter tout risque de brûlure.
- **Oxydes de magnésie**, issus de la calcination des carbonates. Ils présentent une grande variabilité de solubilité conduisant à des différences notables d'efficacité.

Cas des apports organiques

Les effluents d'élevage, les boues de stations d'épuration et les composts sont des sources non négligeables de phosphore, potasse et magnésium. Dans de nombreux cas un apport de fumier ou de compost couvre les besoins de la culture.

Contrairement à l'azote dont seulement une fraction contenue dans l'effluent est disponible pour l'année N, la potasse et le magnésium sont **disponibles rapidement et en totalité** pour la culture à semer. Pour le phosphore, on considère que 75 % du phosphore total apportés par les fumiers de bovins et 90 % de celui apporté par les lisiers ou fumiers de porcs/volailles sont utilisables directement par les plantes.

Type d'effluent	% de MS	P ₂ O ₅ (kg/t ou m ³)		K ₂ O (kg/t ou m ³)		MgO (kg/t ou m ³) Teneur
		Teneur	Coefficient d'équivalence engrais	Teneur	Coefficient d'équivalence engrais	
Fumier de bovin	20 %	1,5 - 4	0,8	6 - 10	1	0,7 – 1,7
Compost de fumier de bovin	30 %	5 - 6	0,7	14	1	
Lisier de porc	5 %	3 - 6	0,95	2 – 6	1	0,7
Fumier de volailles	70 %	20 - 25	0,85	20	1	6,6
Boues liquides de STEP	1 – 10 %	0,6 - 10	0,7	0,1 – 7	1	
Boues chaulées pâteuses de STEP	25 – 30 %	6 - 12	0,9	0,3 – 2,1	1	
Compost à base de déchets urbains	50 %	30	0,7	4	1	
Fientes de volailles séchées et normalisées	85 %	60	0,85	25	1	

Source : Arvalis Institut du végétal

Valeurs moyennes qui diffèrent énormément suivant l'exploitation ou la station d'épuration. Pour piloter au plus juste, **réaliser une analyse de fumier** ou reprendre les valeurs qui vous ont été fournies lors de l'achat du produit.

Par exemple, un apport de :

- 20 t de fumier apportera en moyenne 40 u de P₂O₅ et 160 u de K₂O.
- 2 t de fientes de volailles séchées apportera en moyenne 100 u de P₂O₅ et 50 u de K₂O.

Des pistes pour utiliser moins de PK : améliorer l'efficacité des apports

Apport localisé au semis

Le phosphore est peu mobile (de 2 à 3 mm) : des adaptations sur certains semoirs permettent alors de localiser le phosphore et le potassium au plus près de la graine, ce qui améliore son utilisation par la plante et autorise des doses d'apport minorées de 20 à 30 %.

L'idéal est de positionner l'engrais 10 cm en-dessous de la graine et 5 cm sur le côté pour ne pas pénaliser le développement racinaire en causant des brûlures. Des semences enrobées peuvent aussi être utilisées.

Sur maïs, la localisation de phosphore permet également de réduire l'humidité à la récolte.

Apport foliaire

Compte tenu des faibles quantités apportées (1 à 2 kg de P₂O₅/ha), des apports foliaires peuvent paraître intéressants ; mais l'absorption par les plantes est peu importante (Coefficient Réel d'Utilisation < 10 %). Ces apports sont donc utiles en correction de carences mais ne remplacent pas les apports au sol.

Veiller à n'apporter qu'un seul élément à la fois pour limiter les antagonismes.

Apporter au plus près des besoins

Les travaux de Fardeau (2005) ont montré que le CRU (Coefficient Réel d'Utilisation) de l'engrais phosphaté diminue lorsque le temps de contact avec le sol augmente : il est de 15 à 20 % pour un mois et descend à 2 % après un an.

Les besoins étant maximum aux stades jeunes, il faut donc positionner les apports au plus près du semis. Les apports de printemps seront moins bien valorisés.

Modulation intra-parcellaire

Il s'agit de l'adaptation des doses de P et K suivant différentes zones de la parcelle grâce à une carte automatique compatible avec l'épandeur. Cette carte est réalisée à l'aide de l'historique de la parcelle et d'une série d'analyses de terre géo référencés.

Remobilisation par les couverts

Certains couverts absorbent de grandes quantités de P ou de K qu'ils libèreront lors de leur destruction.

- Couverts riches en potasse : phacélie et radis chinois
- Couverts riches en phosphore : crucifères, lentille, féverole, phacélie

L'estimation des quantités se fait grâce à la méthode [MERCURI](#).

Favoriser l'enracinement en conservant une structure favorable, veiller au pH

Les ions potassium et surtout phosphates sont relativement peu mobiles dans le sol. Une racine pourra absorber le potassium situé à moins de 7,5 mm et les ions phosphates situés à moins de 1 mm. Une exploration racinaire maximale est nécessaire pour bien valoriser des réserves du sol. Les accidents de structure sont souvent à l'origine de carences induites.

De même, l'acidité est une autre cause de mauvaise utilisation des éléments fertilisants. Dans les sols pauvres (en P et/ou K) et acides, il est indispensable de corriger l'acidité avant tout. Attention à ne pas réaliser des apports massifs d'amendement calcaire qui peuvent entraîner des blocages d'oligoéléments. Le pH optimal pour l'assimilation des éléments minéraux se situe entre 6 et 6,5.

Utiliser la mycorhization

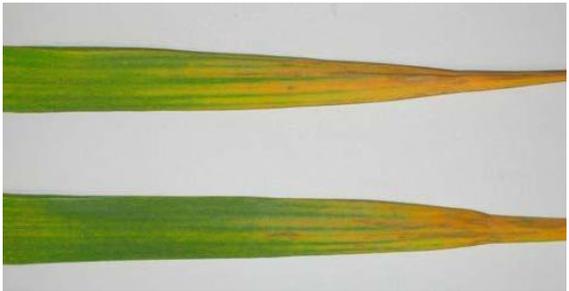
A l'exception des crucifères et des chénopodiacées, toutes les plantes peuvent être mycorhizées. Cette association plante / champignon permet d'augmenter l'exploration du sol et de bénéficier d'une plus grande quantité de ressources : eau, éléments minéraux dont P et K. En système bio, il a été montré que la mycorhization sur les racines des cultures était parfois très importante.

La présence de légumineuses stimule l'activité des mycorhizes.

Identifier les carences pendant le cycle de la culture

Attention à ne pas confondre avec des faims d'azote, des phytotoxicités de traitement chimique, des stress climatiques ...

Les carences peuvent aussi être induites : présence des éléments dans le sol mais non assimilables par la plante. Par exemple : antagonisme entre éléments (excès d'azote ou de phosphore qui bloque la potasse ; excès de calcium qui bloque le phosphore ; ...) et effet du sol ou du climat (excès d'eau / sécheresse ; froid ; sol tassé / soufflé ; ...).

	Phosphore	Potasse	Magnésium
Céréales à paille	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Symptômes visibles par foyer / tâche durant le tallage. ▪ Sur les feuilles âgées : rougissement ou jaunissement puis nécrose de la pointe des vieilles feuilles. ▪ Rougissement des gaines ▪ Réduction du tallage ▪ Feuilles amincies et plantes tassées ▪ Facteurs de risque : ancienne prairie et sol froid / engorgé d'eau  <p style="text-align: right; font-size: small;">Photo Arvalis</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nécrose de l'extrémité et du pourtour de la feuille avec des tâches +/- régulières. ▪ Plantes beaucoup plus déshydratées et sensibles à la verse ▪ Espèces peu exigeantes, les manifestations de carences sont très rares. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pendant le tallage ▪ Sur les vieilles feuilles ▪ Jaunissement depuis la pointe (proche des carences en azote) ▪ Ponctuation en chapelet entre les nervures (aspect strié) ▪ Nécrose de la feuille qui vrille en hélice dans les cas graves. ▪ Souvent lié à un stress (froid, sec) ▪ Symptômes peu fréquents ▪ Facteurs de risque : sol riche en potassium, sol compacté, sol acide, fin d'hiver froide et humide ou bien printemps sec. 

	Phosphore	Potasse	Magnésium
Colza	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A l'automne : croissance des plantes réduite (pénalisation du système racinaire), coloration des feuilles « lie de vin ». ▪ Au printemps : progression de la coloration à partir du pétiole sur les feuilles les plus âgées. ▪ Plantes tassées et feuilles amincies. ▪ Floraison et maturation retardées. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décoloration brun/pourpre des bordures de feuilles qui ensuite se nécrosent. ▪ Plantes plus sensibles à la verse et sénescence plus rapide. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décoloration des feuilles entre les nervures puis rougissement dû à l'arrêt de la photosynthèse et nécrose. ▪ Les symptômes apparaissent sur les feuilles les plus âgées.  <p style="text-align: right; font-size: small;">Photo Yara</p>

	Phosphore	Potasse	Magnésium
Mais	<p>Au stade 4 – 5 Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Couleur rouge pourpre à violacée pouvant apparaître très tôt à la pointe des feuilles puis s'étendre aux gaines et à l'ensemble de l'appareil végétatif ▪ Dessèchement des feuilles les plus âgées ▪ Retard de croissance <p>Facteurs de risque : anciennes prairies fauchées et jamais fertilisées. Sols froids avec excès d'eau.</p> <p>Un printemps frais peut provoquer des carences temporaires.</p>	<p>Au stade 4-5 Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Par foyer, réduction de la taille et jaunissement des plantes. Port flasque. ▪ Jaunissement puis brunissement et dessèchement de l'extrémité du limbe, puis des bords de feuilles. La nervure centrale reste verte. ▪ Nécrose de la 1ère feuille. ▪ Les symptômes touchent d'abord les feuilles âgées. ▪ Carence sévère : disparition des plantes <p>Facteur de risque : retournement de prairie non entretenue.</p>	<p>Au stade 5-6 Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Décoloration des feuilles entre les nervures, ▪ Ponctuations blanches sur fond rouge : aspect tigré ▪ Plante vert pâle ▪ D'abord sur les feuilles les plus âgées puis sur toute la plante. ▪ Jaunissements linéaires caractéristiques « en perles » ▪ Port allongé et retombant <p>Facteurs de risque : printemps sec, compactage</p>
	 <p>Photo Arvalis</p>	 <p>Photo Arvalis</p>	

	Phosphore	Potasse	Magnésium
Tournesol	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espèce peu exigeante, les manifestations de carences sont très rares. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décoloration des feuilles les plus âgées entre les nervures, accompagnée d'une nécrose des bordures du limbe.  <p>Photo Terres Inovia</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décoloration des feuilles entre les nervures qui se généralise à l'ensemble. ▪ Puis rougissement dû à l'arrêt de la photosynthèse, épaississement et nécrose (aspect cassant et gaufré). ▪ Les symptômes apparaissent sur les feuilles les plus âgées. 

Sources : Guide Fertilité du sol 2016-2017 CA BFC, Arvalis Institut du Végétal, Bulletins Equipe PV CA89

Action réalisée dans le cadre du programme régional de recherche & expérimentation en grandes cultures des Chambres d'Agriculture de Bourgogne Franche-Comté avec le soutien financier de



Retrouvez la Fiche - Le point sur la réglementation phytosanitaires et le Bulletin de Santé du Végétal sur : <https://bourgognefranche-comte.chambres-agriculture.fr/>

- Avant toute utilisation de produits phytopharmaceutiques, ne pas oublier de bien lire l'étiquette présente sur le produit.

Crédit photographique : Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire

Rédaction : Equipe Grandes Cultures - Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire
59 rue du 19 mars 1962 – CS 70610 – 71010 MACON CEDEX - Tél. 06 75 35 25 23