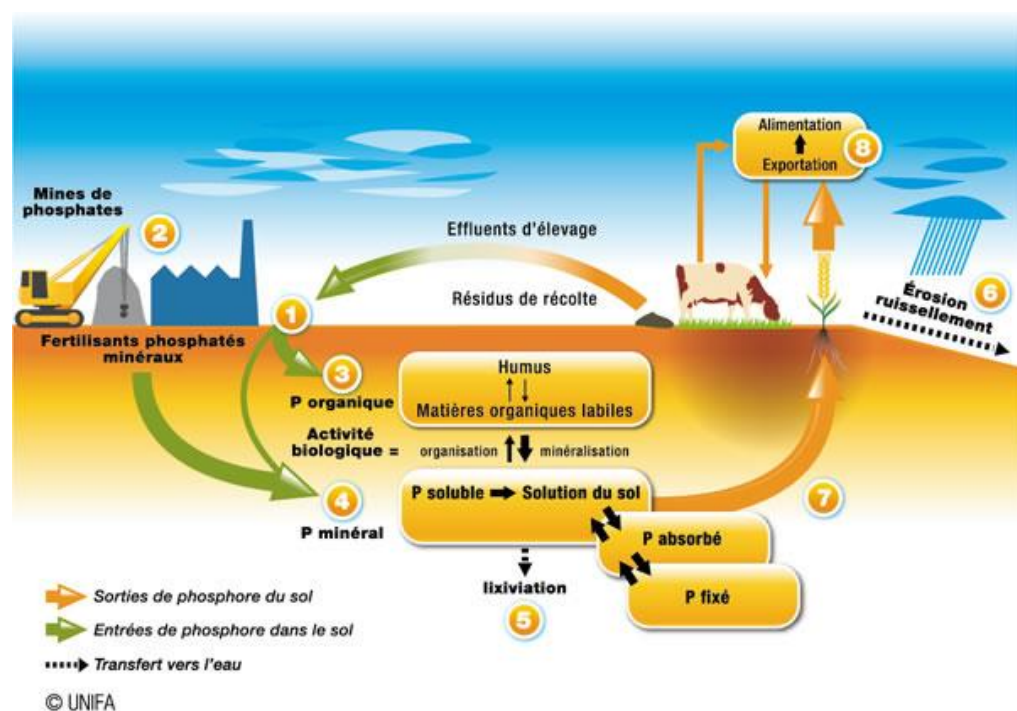
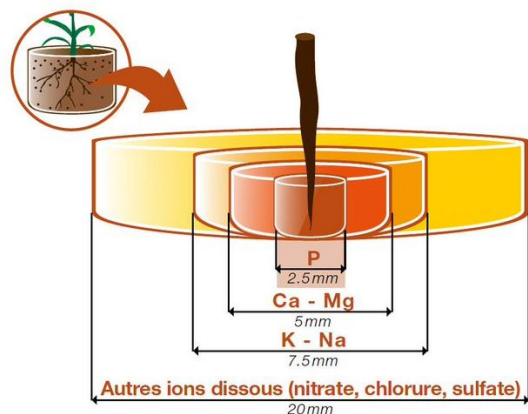


Le phosphore

Étymologiquement, le phosphore (P) signifie « porter la lumière » et joue un rôle essentiel dans de nombreuses molécules de la matière vivante. On le trouve associé à des combinaisons organiques multiples, dans les acides nucléiques, les ADN et ARN dont il constitue le squelette ainsi qu'à de nombreux protides et lipides que l'on qualifie de phosphoprotéines et de phospholipides. C'est le composant central de l'ATP (adénosine triphosphorique) forme de l'énergie au niveau des cellules. Le phosphore a aussi un rôle sur la photosynthèse en synergie avec l'azote et de nombreux autres éléments.

Dans le milieu agricole on parle souvent de P_2O_5 (pentoxyde de phosphore). Il faut rappeler qu'il n'y a pas de P_2O_5 au sens strict (ni K_2O d'ailleurs) dans les engrais, c'est par convention et de vieux historiques que l'on exprime les concentrations en cet élément sous forme oxyde.



Le cycle du phosphore

A la différence de l'azote, le phosphore apporté sur les cultures est un élément limité car tiré d'une activité minière (principaux gisements situés au Maroc). Il se retrouve ensuite dans les résidus de cultures ou amendements organiques liés à l'élevage ou la méthanisation, restituant au sol une partie du phosphore absorbé par les plantes.

Les pertes par lessivage de l'élément phosphore sont très faibles, même dans un sol filtrant, car **c'est un élément très peu mobile dans le sol. C'est pour cette raison qu'il est souvent apporté en localisé au semis, au plus près des jeunes racines.**

Les racines des plantes absorbent le phosphore principalement sous forme d'ions phosphoriques $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} dans la solution du sol. Ces ions minéraux proviennent de la solubilisation des phosphates et des ions minéraux adsorbés/retenus sur les différentes phases solides du sol.



Ce n'est pas parce que j'ai beaucoup de phosphore dans mon sol qu'il est assimilable

Des problèmes de disponibilité dans les sols alcalins mais aussi dans les sols très acides

Pour l'élément phosphore, la plage optimale de pH se situe entre 6 et 7,5. Au-dessus de 7,5, situations régulièrement rencontrées dans nos sols du bassin parisien, le phosphore va se lier au calcium le rendant peu soluble et peu disponible pour les plantes. Sous cette forme liée, il est assez difficile de le solubiliser, plusieurs étapes complexes sont nécessaires avant de pouvoir être absorbé par la plante.

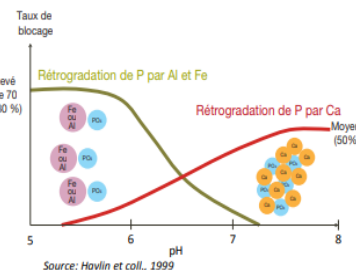
Dans d'autres situations correspondant à des sols acides avec des pH inférieurs à 6, le phosphore va se lier à l'aluminium ou le fer rendant également plus difficile son absorption par les racines.

Une partie des apports de phosphore va être rétrogradée et bloquée rapidement dans le sol



Dans les 6 semaines suivant l'application, entre 50 à 75 % du phosphore soluble est perdu si il n'est pas absorbé

Selon le CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, organisme gouvernemental australien pour la recherche scientifique), dans les 6 semaines suivant l'application, plus de 75% du phosphate soluble est perdu si il n'est pas absorbé. C'est probablement davantage de l'ordre de 50 % dans nos sols alcalins mais cela reste une vraie problématique ! On peut estimer que des milliards d'euros de phosphate appliqué se trouvent désormais enfermés dans les sols agricoles.



Les engrais phosphatés protégés, qu'est-ce que c'est, comment les utiliser ?

De nombreux engrais « techniques » ont vu le jour sous différentes formes avec un rôle commun : limiter la fixation dans le sol du phosphore apporté par les engrais et améliorer sa disponibilité pour la plante.

Comment ça marche ?

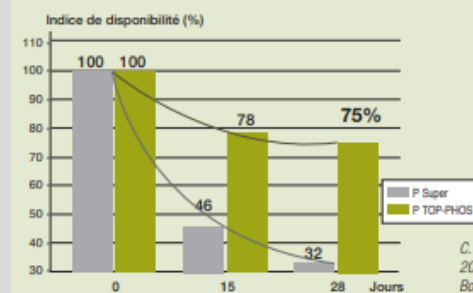
Ce sont des engrais qui créent un bouclier chargé négativement dans le micro-environnement entourant le granulé phosphaté. Ce bouclier attire spécifiquement les cations polyvalents aluminium, fer, manganèse, calcium et magnésium qui se trouvent dans le profil pédologique et qui influencent le blocage du phosphate. Une fois les cations immobilisés sur ce bouclier, cela préserve le phosphore et permet d'allonger la durée de disponibilité dans le sol (voir graphique ci-dessous). Ainsi, la plante peut en absorber davantage ou en tous les cas, rendre le phosphore plus efficient.

Quels gains et quelles situations privilégiées ?

Ces engrais apportent le plus de bénéfices dans les situations où l'assimilabilité du phosphore est la plus faible (pH au-dessus de 7,5 ou en dessous de 6).

Les gains permis par ce genre de solution sont variables et influencés par de nombreux paramètres mais des résultats de l'ordre de + 5 à +10 % de rendement VS engrais phosphaté classique sont couramment observés sur les cultures très exigeantes.

Evolution du P en % dans un sol basique - pH 8,5



Des formes d'engrais à privilégier selon le pH

- Sols acides : engrais peu solubles (type phosphates naturels) ; un complément sous forme très soluble peut cependant être effectué au printemps pour soutenir la végétation
- Sols basiques : engrais très solubles (type superphosphates triples, MAP, DAP...) ; attention à la forte salinité de ces produits
- Autres sols : la plupart des engrais présents sur le marché sont utilisables, sauf les moins solubles.

Des mécanismes mis en place par la plante pour aller chercher le phosphore.

Lorsque le phosphore n'est pas suffisamment présent dans la solution du sol, les plantes mettent en place des mécanismes leur permettant d'aller chercher ce dont elles ont besoin. Plusieurs mécanismes sont observés :

- Acidification de la rhizosphère par les racines en favorisant l'absorption de cations.
- Exsudation de l'enzyme phosphatase pour hydrolyser le phosphore organique.
- Exsudation des stimulants pour attirer les PGPRs (rhizobactéries favorisant la croissance des plantes) qui solubilisent le phosphore pour la plante.
- Colonisation des racines par les mycorhizes (association symbiotique entre les champignons et les racines des plantes).

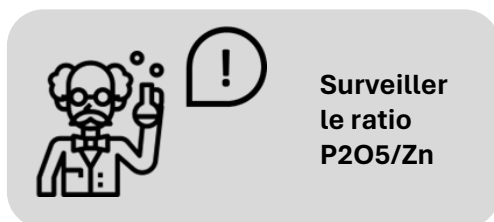
Ces mécanismes sont plus ou moins bien mis en place selon la famille botanique et même l'espèce : par exemple le tournesol, le sarrasin, la phacélie ou le lupin sont particulièrement efficaces pour aller pomper ce phosphore lié, ces plantes sont d'ailleurs souvent qualifiées de « pompes à phosphore ».

Les couverts végétaux ont donc un rôle à jouer ...

En choisissant des couverts à base de tournesol par exemple, la capacité de cette espèce à aller chercher le phosphore lié dans le sol, couplée à une dégradation progressive des résidus végétaux, pourrait permettre de libérer et remettre progressivement dans le cycle cultural un peu de phosphore bloqué dans le sol.

Le ratio P2O5/Zinc à surveiller également

Parfois les processus métaboliques de la plante empêchent le transfert des nutriments des racines vers les autres parties de la plante. C'est notamment ce qui se produit avec l'interaction entre P/Zn si le ratio est trop faible ou trop élevé.



Phosphore et Produits Résiduaux Organiques (PRO)

Tous les produits organiques (fumier, fientes, compost, ...) apportent des éléments minéraux en quantité variable dont une proportion non négligeable de phosphore. Cet apport sous forme organique n'est pas soumis aux mêmes règles qu'un apport sous forme minéral : en effet, selon le type de produit organique, une certaine fraction seulement sera disponible pour la culture l'année de l'apport (la majorité du reste étant disponible en année 2).

Pour déterminer cette fraction, on applique à la quantité totale de phosphore apportée un « coefficient d'équivalence superphosphate », différent selon le type de PRO.

Type de PRO	Coefficient d'équivalence (source Arvalis)
Lisier et fumiers de porc	0,95
Fumiers et fientes de volailles	0,85
Fumiers de bovins	0,80
Compost de fumiers de bovin	0,70
Boues de STEP biologiques	0,95
Boues de STEP physico-chimiques (CaO, sels Fe, ...)	0,90
Compost de boues de STEP et déchets verts	0,70
Compost de déchets verts	0,55

Et les digestats ?

Peu de travaux ont été conduits jusqu'à présent sur ces thématiques mais il est couramment admis que :

- Les digestats solides se rapprochent des PRO types compost de déchets verts.
- Les digestats liquides se rapprochent des lisiers.

Plusieurs méthodes de quantification du phosphore dans les sols.

Olsen, Joret Hebert, Dyer et bien d'autres mais quelles différences ? En réalité ces différentes analyses mesurent plus ou moins intégralement la quantité de phosphore dans les sols. La plus couramment utilisée dans les analyses de sols correspond à la méthode Olsen, méthode également la plus utilisée dans le monde. Cette méthode essaye d'approcher la part la plus soluble du phosphore et apparaît la mieux adaptée aux sols alcalins typiques de nos régions. Pour la méthode Dyer, elle est abandonnée par la plupart des laboratoires car elle surestime le phosphore assimilable du sol.



La méthode Olsen est la plus utilisée pour quantifier le phosphore du sol, particulièrement adaptée à nos sols à pH supérieurs à 7,5.

devenir des engrais Phosphatés			Forme du phosphore	en quantité par ha	mobilité pour la plante	pouvoir extractif		
naturels	hypo-solubles	solubles eau				Olsen	Joret	Dyer*
	○	●	dissous dans la solution du sol	200 - 1000g soit 0,1 à 0,4%	directe	■	■	■
○ ○ ● ● ● ●	● ● ● ● ● ●	○ ●	absorbé sur le complexe argilo-humique	500 kg soit 5%	échangeable et assimilable	□	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
● ● ●			lié au calcium (pH>7) à l'ammonium (pH<6) au fer (tous pH)	10 000 kg soit 95%	Lentement disponible		□	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
					Bloqué			□

Source AUREA

L'effet « vieille graisse », un intérêt ?

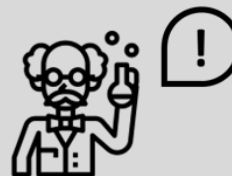
Etant donnée la difficulté à mobiliser les réserves de phosphore du sol, on considère qu'il n'est plus nécessaire d'entretenir des teneurs élevées en phosphore dans les sols, inutiles et préjudiciables en terme environnemental (eutrophisation...).

Quant aux apports par voie foliaire, leur efficacité nutritionnelle est très discutée et doivent être considérés davantage comme des apports de correction, c'est-à-dire comme un complément des apports au sol dans des conditions particulièrement défavorables.

Faut-il un apport de phosphore ?

Etant donnée la dynamique du phosphore, l'interprétation des résultats d'analyses brutes n'est pas toujours évidente. Le raisonnement de la fertilisation phosphatée au Laboratoire AUREA utilise notamment le logiciel REGIFERT, développé par l'INRA, de type Comifer.

L'interprétation du résultat d'analyse donne également une place importante au sol, en intégrant l'appréciation de son pouvoir fixateur vis à vis du phosphore, la capacité d'exploration du sol par les racines et le passé récent de fertilisation (impassé ou non). Ce raisonnement intègre également le devenir des résidus de cultures ainsi que le prélèvement maximal de la plante pour pouvoir réaliser son cycle complet de développement sans perte de rendement. Certains facteurs, tels la mycorhization des racines, sont cependant ignorés, alors qu'ils peuvent contribuer à l'assimilation du phosphore, en augmentant considérablement le volume de sol exploré et en optimisant l'absorption d'éléments nutritifs.



Le calcul de la dose de phosphore à apporter peut être réalisé à la main mais il est bien plus aisé d'utiliser les conseils calculés et présents sur les analyses de sol.

Scan me



C'est ici !

Accéder aux
tableaux des
exportations et à
la méthode de
calcul COMIFER

Les carences en phosphore

L'exigence de l'espèce et la disponibilité en phosphore dictent les stratégies de fertilisation (renforcement, entretien, impasse, ...).

Les symptômes

Rougisement typique du bout des feuilles puis des tiges, plantes rabougries et système racinaire peu développé. Les feuilles les plus âgées se dessèchent. Un retard de croissance s'observe également.



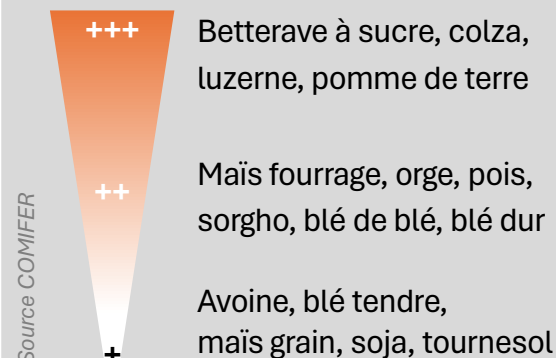
© ARVALIS - Institut du végétal



Source Yara



Exigence en phosphore des différentes cultures



Si une carence en phosphore est observée, un apport en curatif est peu efficace. Réaliser des analyses de sol tous les 5 ans pour évaluer les stocks et besoins de la plante



Source Yara

Situations davantage à risques :

- Sols à pH faible ou élevé
- Sols avec des teneurs en phosphore basses
- Sols lourds
- Stade de développement précoces avec un système racinaire limité
- Sols avec excès d'eau et froids dans lesquels la croissance des racines est ralentie