

COMPRENDRE LE PHOSPHORE DANS LES RÉGIONS RURALES

SOURCES DIFFUSES AGRICOLES DE PHOSPHORE

LE PHOSPHORE DANS LE SOL

Les écosystèmes du sol ressemblent aux systèmes aquatiques; seule une petite partie du phosphore total est facilement assimilable par les plantes.

On décrit habituellement le système du P dans le sol comme ayant trois sources de P :

- le P soluble
- le P labile
- le P stable.

PHOSPHORE SOLUBLE

Une petite partie du P du sol est dissoute dans la solution du sol sous forme d'orthophosphate, la forme absorbée par les plantes.

PHOSPHORE LABILE (FORMES ORGANIQUE ET INORGANIQUE)

À mesure que les plantes épuisent l'orthophosphate dans la solution du sol, la deuxième principale source de P dans le sol, le P *labile*, remplace le P dissous. Les particules du sol retiennent lâchement le P labile, qui peut facilement passer en solution.

PHOSPHORE STABLE (FORMES ORGANIQUE ET INORGANIQUE)

La troisième source de P dans le sol, le P *stable*, est retenue fermement par les particules de sol, sous forme de phosphates de fer et d'aluminium dans les sols acides et de phosphates de calcium dans les sols calcaires. Une partie du P fait partie de la structure moléculaire de la matière organique du sol. Le P stable n'est pas assimilable par les plantes et se transforme très lentement en P labile et en P soluble.



Et le P_2O_5 (phosphate dans l'engrais)?

Il s'agit d'une mesure utilisée pour les engrais : les plantes n'absorbent pas cette forme de phosphore.

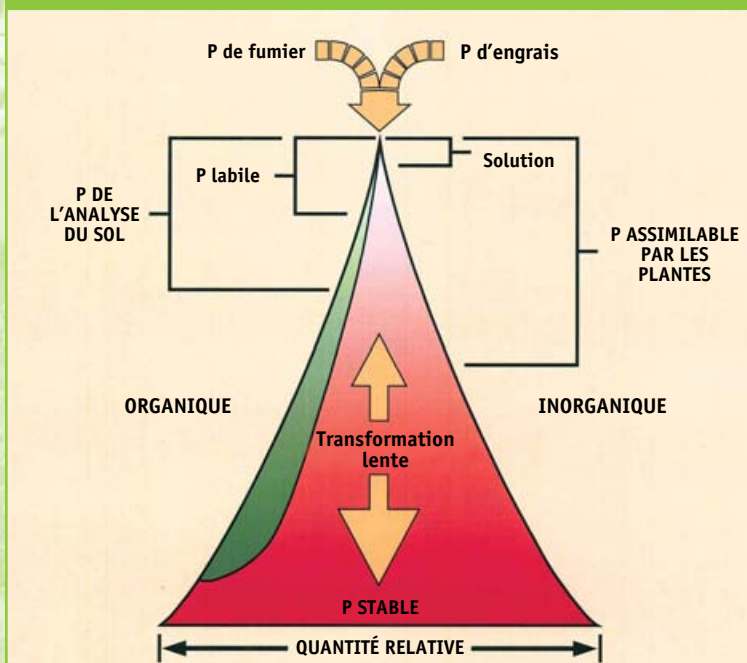
P = phosphore

PO_4^{3-} = phosphate

Une discussion sur le phosphore porte en réalité sur les phosphates. Le phosphate est la forme utilisée dans le métabolisme des plantes et des animaux et on le trouve le plus souvent dans les minéraux. Du point de vue chimique, il comprend quatre atomes d'oxygène liés à l'atome de P central. Sa charge et son nombre d'atomes d'hydrogène dépendent du pH.

La quantité totale de P dans les 15 premiers centimètres (6 po) de sol équivaut à de 3 000 à 5 000 kilogrammes par hectare (2 700 – 4 500 lb/ac) de phosphore. Cependant, moins d'un pour cent du P total est assimilable par les cultures.

TRANSFORMATIONS DU PHOSPHORE DANS LE SOL

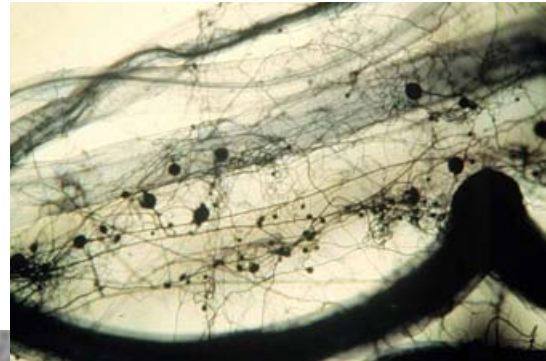


Le phosphate réagit avec tellement de composés et d'éléments différents dans le sol que seule une petite quantité demeure en solution en tout temps.

La majorité du P est liée à des composés dont la solubilité est variée, tel qu'indiqué par l'étiquette *Solution* de cette illustration. Lorsque le P soluble est ajouté au sol sous forme d'engrais ou de fumier (voir le haut de l'illustration), la majorité de celui-ci se transforme rapidement d'abord en formes labiles. (Remarque : le P assimilable par les plantes comprend du P en solution, du P labile et des formes de composés moins stables.) Il se convertit ensuite en formes de plus en plus stables en réagissant avec le fer, l'aluminium ou le calcium (étiquette *Inorganique*), en se liant aux particules d'argile ou de matière organique ou en s'intégrant à la structure chimique de l'humus (étiquette *Organique*).

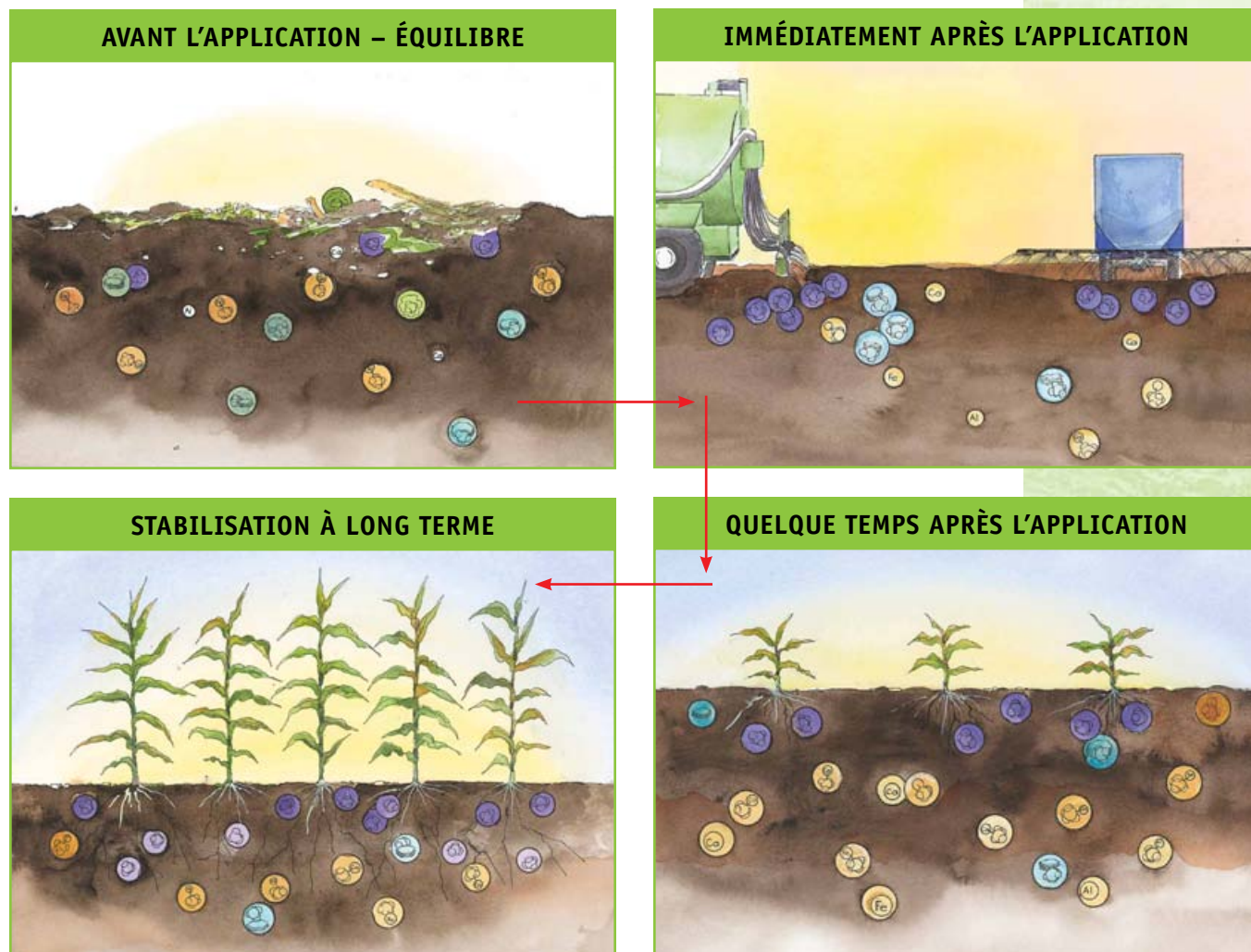
Avec le temps, le P a tendance à s'accumuler dans les composés les plus stables (représentés par la base du triangle); cependant, une partie du P est également dégagée dans la solution pour remplacer le P absorbé par les racines des plantes (flèches *Transformation lente*), une plus grande quantité du P devenant proportionnellement stable et de plus petites quantités de ce dernier étant lentement dégagées dans la solution.

Le champignon mycorhizien à arbuscules (MA) est un champignon qui aide les cultures et la plupart des autres plantes à absorber des nutriments et de l'eau, en particulier du phosphore, en échange de sucres. Le mycélium très fin du champignon, semblable à des racines, peut explorer un plus grand volume de sol que les racines plus épaisses des plantes. En outre, il peut excréter divers produits chimiques pour faciliter l'absorption des nutriments.



Les plantes absorbent la grande majorité du phosphore par leurs racines et leurs poils absorbants et leur contact avec le P lorsqu'elles poussent dans le sol. Comme les faibles températures ralentissent la croissance des racines et l'absorption des nutriments, les plantes sont souvent incapables de trouver suffisamment de P lorsqu'il fait froid, surtout si elles sont petites.

Il est donc avantageux de placer l'engrais au phosphore à des endroits accessibles par les racines et de l'appliquer dans les périodes où les plantes l'utilisent le plus.



Avant l'application – Équilibre

Le P du sol est classé en trois groupes, mais il y a une gradation entre les formes labiles et stables de P :

- P soluble : phosphate ou PO_4^{3-} (cercles mauves)
- P labile : retenu lâchement par les particules de sol (cercles bleus) et la surface de la matière organique (cercles verts)
- P stable : phosphore lié au calcium, au fer ou à l'aluminium (cercles or) ou lié chimiquement à des molécules organiques complexes.

Avant la plantation, le P du sol est en équilibre, une fraction seulement du phosphore étant sous forme soluble.

Immédiatement après l'application

Cette illustration montre ce qui se produit dans l'équilibre lorsque l'on ajoute du P de fumier ou d'engrais avant la plantation. La plupart des engrais au P comprennent des composés de P solubles dans l'eau, et la majorité du P provenant du fumier est soluble dans l'eau. L'application de P d'engrais ou de fumier cause au départ une augmentation marquée du P soluble dans le sol au point de contact, tel qu'illustré par l'introduction de cercles mauves foncés de phosphates.

Quelque temps après l'application

L'équilibre chimique se rétablit rapidement, car la majorité du P ajouté se joint au P labile. Remarquez les cercles de P lié à l'humus (verts) et à l'argile (bleus), ainsi que la quantité moindre de phosphates en solution (cercles mauves foncés) dans la zone racinaire.

Stabilisation à long terme

Avec le temps, une partie du P de la source de P labile adopte les formes organique et minérale, plus stables. (Remarquez l'augmentation du nombre de cercles de P or foncés.) La fertilisation au P et l'application du P provenant du fumier ont pour effet immédiat d'augmenter la capacité de la réserve de P labile de renouveler le P de la solution. L'effet à long terme net des ajouts de P sur la quantité de P labile et de P total dans un sol dépend des propriétés du sol, de l'absorption de P par les cultures et de la fuite de P dans d'autres processus (comme l'érosion et le ruissellement).

- Phosphate (PO_4^{3-})
- Phosphates de calcium ($\text{Ca} + \text{PO}_4^{3-}$)
Phosphates de fer ($\text{Fe} + \text{PO}_4^{3-}$)
Phosphates d'aluminium ($\text{Al} + \text{PO}_4^{3-}$)
- Humus + PO_4^{3-}
- Argile + PO_4^{3-}

LE PHOSPHORE DANS LE FUMIER

Environ les deux tiers du phosphore du fumier se trouvent dans les fèces (et non l'urine), surtout sous forme de composés organiques et aussi d'orthophosphate. Les composés organiques se décomposent facilement lorsqu'ils sont entreposés ou dans le sol, donc cette partie du phosphore du fumier devient tôt ou tard assimilable par les cultures.

Le meilleur rendement économique du fumier se produit habituellement lorsque les taux d'application répondent aux besoins de cultures comme le maïs ou les céréales en matière d'azote. Cependant, cela signifie habituellement qu'on applique plus de phosphore que ce que peut en absorber la culture, donc de très grandes quantités de phosphore peuvent s'accumuler dans le sol lorsqu'on emploie cette méthode de gestion pendant plusieurs années.

Si les résultats de l'analyse du sol montrent une forte quantité de phosphore, il y a risque de fuite de phosphore. Le ruissellement et l'érosion dans ces zones peuvent acheminer une grande quantité de phosphore dans les lacs et les rivières.



L'épandage de fumier donne souvent un rendement accru comparativement à l'utilisation d'engrais seulement. Cela est probablement attribuable à l'ajout de matière organique, à la prolifération des organismes du sol et à l'amélioration de la qualité du sol après l'épandage de fumier.

La teneur de nutriments dans le fumier varie énormément, selon l'espèce, la taille, l'âge, l'alimentation, le bâtiment d'élevage, le type de fumier et d'autres facteurs de gestion.



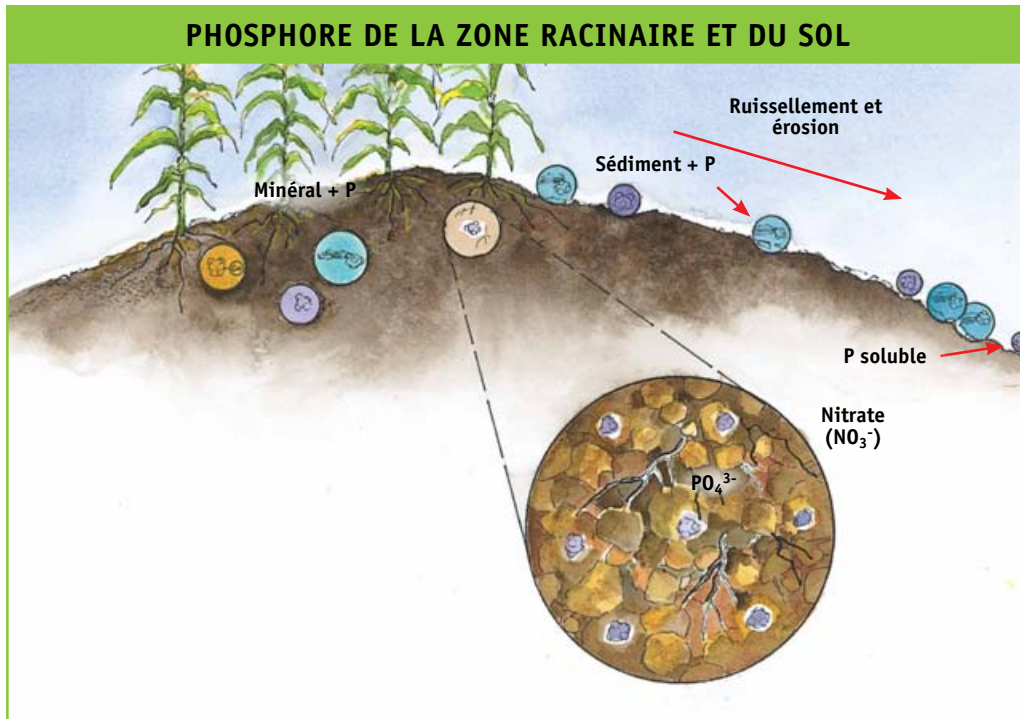
LE PHOSPHORE DANS L'ENGRAIS



Le phosphate naturel est insoluble dans l'eau et le phosphore qu'il contient devient très lentement assimilable par les plantes – il faut au moins une centaine d'années.

Pour rendre le phosphate naturel plus facilement assimilable par les plantes, on le traite avec divers acides.

Le phosphate naturel, qu'on exploite surtout dans le sud des États-Unis, le nord de l'Afrique et la Russie, est la source de presque tout le phosphore contenu dans les engrais.



Les phosphates dans le sol ne fuient pas facilement. La plupart des phosphates se lient facilement aux particules du sol (formes labile et stable) et il est peu probable qu'ils se dégagent, comme le montrent les cercles bleus, verts et orange placés sous la surface du sol dans l'illustration et le médaillon.

Le phosphore fuit de la surface du sol par ruissellement en surface et emporte le P particulaire des sédiments érodés et du P dissous, comme le montrent le P sédimentaire et le P soluble à la surface du sol.

SOURCES PONCTUELLES AGRICOLES DE PHOSPHORE

Parmi les sources ponctuelles agricoles possibles d'apport en phosphore, on compte :

- les installations d'entreposage de fumier et d'autres nutriments
- les enclos de bétail
- l'eau de lavage des centres de traite
- les fosses septiques défectueuses.

À moins d'être bien géré, le phosphore de ces sources peut atteindre l'eau de surface en s'écoulant sur le sol et par les drains d'évacuation (tuyaux) souterrains. Dans ces cas, le risque de pollution de source ponctuelle est le plus grand après la fonte des neiges et les orages.



Les orages et la fonte des neiges peuvent transporter le sol et le fumier des enclos de bétail à l'eau de surface, comme les cours d'eau et les lacs. Le sol et le fumier peuvent contenir du phosphore, d'autres nutriments et des bactéries.

- Phosphate (PO_4^{3-})
- Phosphates de calcium ($\text{Ca} + \text{PO}_4^{3-}$)
- Phosphates de fer ($\text{Fe} + \text{PO}_4^{3-}$)
- Phosphates d'aluminium ($\text{Al} + \text{PO}_4^{3-}$)
- Argile + PO_4^{3-}

Les animaux et les humains utilisent les nutriments comme le phosphore qui se trouvent dans les cultures récoltées. Le retour de leurs déchets aux terres cultivées conclut le cycle du phosphore.

TRANSPORT DU PHOSPHORE JUSQU'À L'EAU DE SURFACE

Les phosphates de source agricole peuvent atteindre l'eau de surface à partir de sources ponctuelles et diffuses. Voici certaines des voies les plus communes de transport du phosphore jusqu'à l'eau de surface.

SOURCES PONCTUELLES

Déversement

Un déversement se produit lorsque le phosphore d'une solution entreposée provenant d'une source concentrée (comme le purin, une solution de serre) se déverse accidentellement dans l'environnement.

Le matériel déversé peut ruisseler directement dans l'eau de surface à partir de la source de déversement. Dans la plupart des cas, le liquide forme une mare sur le sol ou une surface imperméable. Le liquide de la mare s'échappe et forme un écoulement concentré, qui se déplace alors sur le terrain et suit la voie de moindre résistance pour atteindre le plan d'eau de surface le plus près.

Les déversements peuvent également atteindre l'eau de surface indirectement. Une prise d'eau de surface voisine, des fissures dans le sol ou un sol peu profond à roc sous-jacent peuvent servir de conduites directes au drainage souterrain. Le système de drainage souterrain aboutira sur les plans d'eau de surface voisins.

Fuites

Dans ce contexte, les fuites sont un dégagement accidentel continu de petites quantités de liquides contaminés. Les fuites chroniques s'accumulent dans l'environnement avec le temps. Par exemple, le phosphore peut atteindre l'eau de surface lorsqu'il est en solution et en suspension avec des sources organiques comme les tas de fumier solide ou les enclos de bétail.

Les liquides qui s'échappent peuvent former une mare à la surface du sol et suivre la voie de moindre résistance jusqu'à l'eau de surface.

Raccordements illégaux

Dans quelques cas isolés, on raccorde directement les sources de déchets liquides aux systèmes de drainage souterrains pour les évacuer dans l'eau de surface. On contourne délibérément les fonctions naturelles de traitement des sols. Cela est illégal.

SOURCES DIFFUSES

Érosion hydrique

Le phosphore particulaire peut s'éroder de la planche de semis et des couches supérieures du sol lorsque l'eau s'écoule sur les terres cultivées. Lorsqu'un orage sature la surface du sol ou que les sols sont semi-gelés, les particules se détachent facilement. Le P lié se déplace avec les sédiments et les eaux de ruissellement en nappes, en rigoles ou en ruisselets. Le matériel érodé peut se déposer dans les champs ou dans l'eau de surface voisine.

Érosion éolienne

Si le sol est sec, non protégé et exposé, le P particulaire peut être transporté avec les sédiments de sol par l'action érosive du vent. La plupart des particules transportées par le vent se déposent dans les champs voisins, le long des clôtures ou dans les brise-vent. Cependant, certains matériaux peuvent atteindre les eaux de surface voisines comme les lacs et les cours d'eau.

En cas de déversement, agissez rapidement et de façon sécuritaire pour arrêter et contenir le matériel déversé. Ensuite, appelez le Centre d'intervention en cas de déversement du MEO au 1-800-268-6060. Donnez les détails du déversement, les mesures prises et les intentions futures.

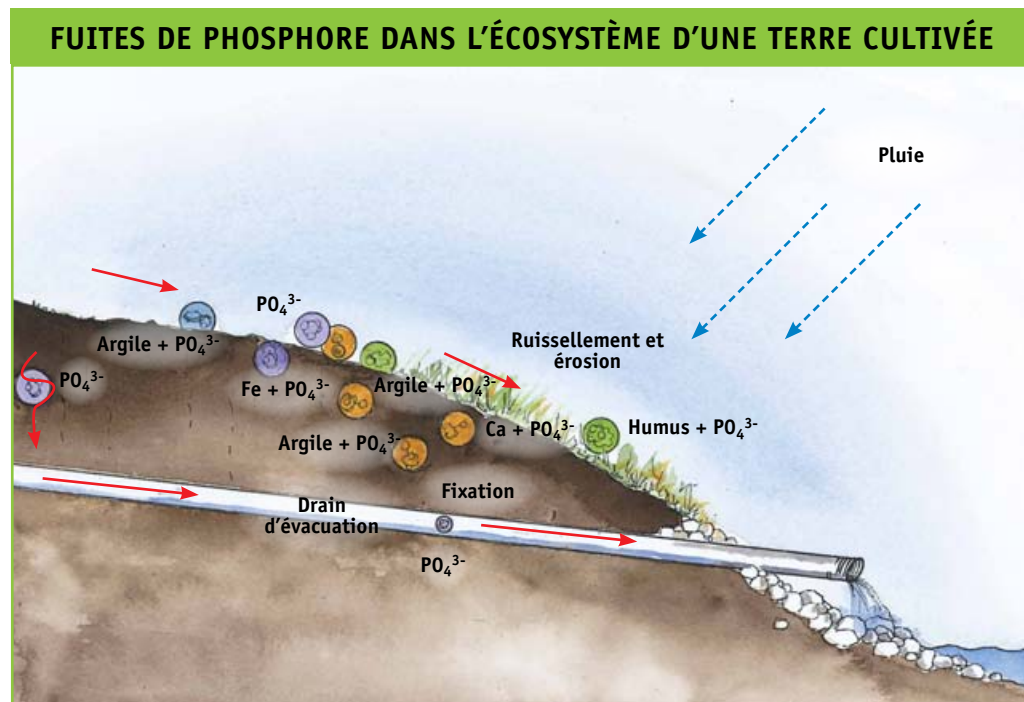
Si le sol est exposé, le P particulaire peut être transporté avec les sédiments de sol par l'action érosive du vent.



FORMES DE PHOSPHORE DISSOUS

Ruissellement

Une bonne partie du phosphate des planches de semis et des couches supérieures du sol reste liée aux particules de sol. Cependant, une partie se détachera des particules pour se déplacer avec l'eau à la surface du sol et sera emportée du champ par l'eau de ruissellement, surtout si le sol est saturé ou semi-gelé.



Les composés de phosphore peuvent s'échapper des zones racinaires des terres cultivées des manières suivantes :

- **Ruissellement et érosion.** Les nutriments appliqués en surface sous forme organique (fumier) ou inorganique (engrais phosphatés) peuvent s'écouler directement lors des orages et de la fonte des neiges; ce sont les cercles de P mauves à la surface. L'érosion du sol peut entraîner la perte des phosphates sédimentaires; ce sont les cercles de P bleus et verts à la surface. Le risque d'érosion et de ruissellement augmente si la pente est forte, les taux d'infiltration sont faibles, les sols sont compactés ou gelés, la couverture végétale ou des cultures est faible ou la pluie et la fonte des neiges est intense.
- **Évacuation par les drains.** De petites quantités de phosphates provenant du purin ou des biosolides épandus (cercles de P mauves dans le drain) ou du P lié à l'argile et à la matière organique peuvent atteindre les systèmes de drainage dans les sols comportant de larges fissures et de larges macropores souterrains.
- **Fixation.** Le phosphate réagit fortement dans le sol : il s'allie au calcium, au magnésium, au fer, au manganèse ou à l'aluminium pour former des composés insolubles ou se lie aux particules de sol : ce sont les cercles de P orange dans le profil du sol. Une petite quantité de phosphate demeure en solution en tout temps. Une bonne partie du phosphate reste sous forme de réserve et est lentement dégagé dans la solution pour renouveler ce que les plantes ont absorbé.

Drainage souterrain

Le phosphore peut atteindre les systèmes de drainage souterrains dans le premier cas ci-dessous et dans au moins un des cas 2, 3 et 4.

- 1 – sols à forte concentration de P en raison de l'application à long terme de P de sources organiques et inorganiques
- 2 – sols sableux profonds
- 3 – sols à macropores continus (notamment des fissures et des terriers de vers)
- 4 – sols à forte teneur de matière organique à faible capacité de rétention du phosphore.

Une partie du P dissous suivra les gros pores continus dans les sols sableux ou graveleux pour sortir de la zone racinaire (sol occupé par les racines des plantes). La majeure partie de l'eau gravitaire qui s'écoule dans la zone racinaire au-dessus du tuyau de drainage souterrain atteindra le système de drainage par tuyaux. Cependant, cette eau transportera seulement une partie du P dissous de la surface vers les drains; la majeure partie de ce phosphore sera absorbé par les cultures en croissance ou fixé par les minéraux du sol.

Le phosphore fixé aux particules fines, comme l'argile ou la matière organique, peut également suivre les macropores et pénétrer dans les systèmes de drainage souterrains. Dans la plupart des cas, les teneurs de sédiment et de P dans l'eau d'écoulement ne sont pas élevées. Cependant, il y a un risque de teneurs plus fortes dans les eaux de sortie si les terres cultivées drainées :

- ont un faible taux d'infiltration
- ne sont pas protégées par une culture-abri ou des résidus de culture et
- comportent des éléments de drainage en surface, comme les prises d'eau de surface, directement reliés au système de drainage souterrain.

INDICE DE RISQUE CONCERNANT LA CHARGE DE PHOSPHORE (INDICE-PHOSPHORE)

L'indice-phosphore vise à évaluer le risque de contamination de l'eau de surface à partir d'un champ et à cerner les endroits où des mesures de réduction des fuites de phosphore sont nécessaires.

Le risque est le plus grand lorsqu'une source de phosphore se trouve près d'une voie de transport jusqu'à l'eau de surface. Cela signifie que les endroits où le taux d'épandage de phosphore est le plus élevé ou où les quantités de phosphore relevées lors des analyses du sol sont le plus élevées ne sont pas toujours les endroits où le risque de fuite de P est le plus grand.

Le phosphore peut quitter un champ sous forme de phosphore particulaire sur des particules de sol érodé, de phosphore dissous dans le ruissellement en surface, ou par les sorties de drainage. Dans chaque cas, la source et la voie de transport sont différentes, mais la somme de chaque composante représente le risque total pour un champ donné. Les restrictions concernant la dose, la méthode et le moment des applications de phosphore augmentent selon l'accroissement du risque, au point où dans certains champs, il ne faut pas appliquer plus de phosphore.

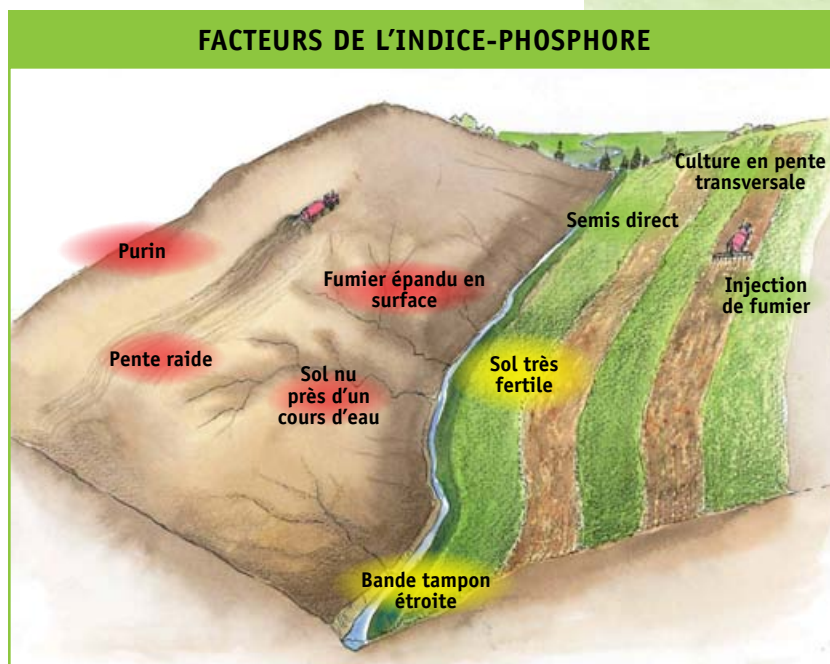
Le tableau suivant présente les facteurs dont on tient compte dans l'évaluation des risques inhérents de fuite de phosphore avant l'ajout de tout engrais ou de tout fumier.

FACTEUR D'INFLUENCE		MESURE OU DONNÉE DU CHAMP NÉCESSAIRE POUR CALCULER L'INDICE-PHOSPHORE
SOURCE	TRANSPORT	
P PARTICULAIRE DANS L'ÉCOULEMENT DE SURFACE : – potentiel d'érosion du sol	– passage des sédiments du champ à l'eau de surface	<ul style="list-style-type: none"> • texture du sol et couverture de la surface • longueur et inclinaison de la pente • intensité et durée de la pluie (en moyenne) • distance du cours d'eau • texture et couverture de la zone d'écoulement
P DISSOUS DANS LE RUISSELLEMENT DE SURFACE : – concentration de P dissous	– potentiel de ruissellement	<ul style="list-style-type: none"> • analyse du P dans le sol • pente du champ • groupe hydrologique du sol
P DANS LES DRAINS : – somme de la charge de P particulaire et de P dissous (car la majorité du P parvient aux tuyaux par écoulement préférentiel par les fissures et les tunnels creusés par les vers)	– intensité du réseau de drainage souterrain	<ul style="list-style-type: none"> • écart entre les drains (placement systématique ou aléatoire) • zone comprise dans le système de drainage

- Indice-phosphore élevé = risque élevé; pas d'application de P
- Indice-phosphore modéré = limites quant à la dose, au moment ou à la méthode d'application de P
- Meilleur indice-phosphore = faible risque

Cette illustration montre les répercussions de la gestion des risques de fuite de P, même si les deux champs sont près d'un ruisseau, ont une pente semblable et un sol très érodable (loam limoneux). Dans le champ du côté gauche de l'illustration, peu de mesures de conservation du sol sont en place, ce qui augmente le risque de fuite de P particulaire. La teneur de P selon les analyses du sol est très élevée en raison d'un historique d'épandage de fortes quantités de fumier, donc le risque de ruissellement de P dissous est également très grand. Il ne faut pas appliquer plus de P dans ce champ en raison du risque déjà très grand de fuite de P.

Dans le champ de droite, on effectue un semis direct suivant les courbes de niveau pour contrôler les pertes de P particulaire, et on a appliqué beaucoup moins de phosphore, conformément à l'analyse du sol et au plan de gestion des nutriments. Il n'y a que dans une étroite bande le long du ruisseau que les doses de phosphore doivent être limitées ou où on doit l'appliquer en bandes souterraines.



Options de gestion lorsque l'indice-phosphore est élevé :

- ✓ Employer des mesures de conservation du sol pour diminuer son érosion, ce qui atténue le risque inhérent de fuite de phosphore.
- ✓ Limiter le taux d'épandage du matériel qui contient du phosphore (engrais, fumier, biosolides d'égout).
- ✓ Appliquer le matériel qui contient du phosphore en bandes souterraines plutôt qu'à la surface, ou incorporer le matériel immédiatement.
- ✓ Éliminer les applications de phosphore à la fin de l'automne ou l'hiver.

SOURCES NON-AGRICOLEES DE PHOSPHORE

Le phosphore sous forme de phosphates était une composante commune des détergents à vaisselle et des nettoyants industriels. On est en train d'éliminer l'usage de phosphate dans les détergents en Ontario, ce qui diminuera la charge de P dans les eaux grises.

Les usines de traitement des eaux usées (égouts) déversent l'eau traitée dans les cours d'eau ou les lacs. Tout le phosphate provenant des eaux usées traitées n'est pas éliminé au cours du processus.

Les fosses septiques peuvent également être une source de phosphore dans les lacs et les rivières. Il est plus probable que le phosphore atteigne l'eau de surface si une fosse septique fait défaut, est près des rives ou libère illégalement son contenu.

Les bateaux de plaisance dotés d'installations peuvent être une source d'eaux riches en P. Il est illégal d'évacuer les eaux usées des bateaux dans les cours d'eau du Canada et il est déconseillé d'en évacuer les eaux grises. Nombre de marinas ont des installations de vidange.



Parmi les sources de pollution urbaine au phosphore, on compte les effluents des usines de traitement des eaux usées (égouts), les égouts pluviaux et les sources industrielles.