

## Le phosphore dans les sols nécessité agronomique, préoccupation environnementale

**Le phosphore du sol est indispensable au développement des plantes, mais en excès il peut participer à la dégradation des eaux de surface. Dans les zones cultivées, les apports d'engrais minéraux, d'effluents d'élevage ou urbains contribuent aux besoins des cultures en phosphore. Les livraisons d'engrais minéraux phosphatés ont baissé de deux tiers depuis les années 70. Les teneurs en phosphore des sols agricoles augmentent néanmoins dans 43 % des cantons étudiés, notamment dans les régions Bretagne, Pays de la Loire, Champagne-Ardenne et Aquitaine.**

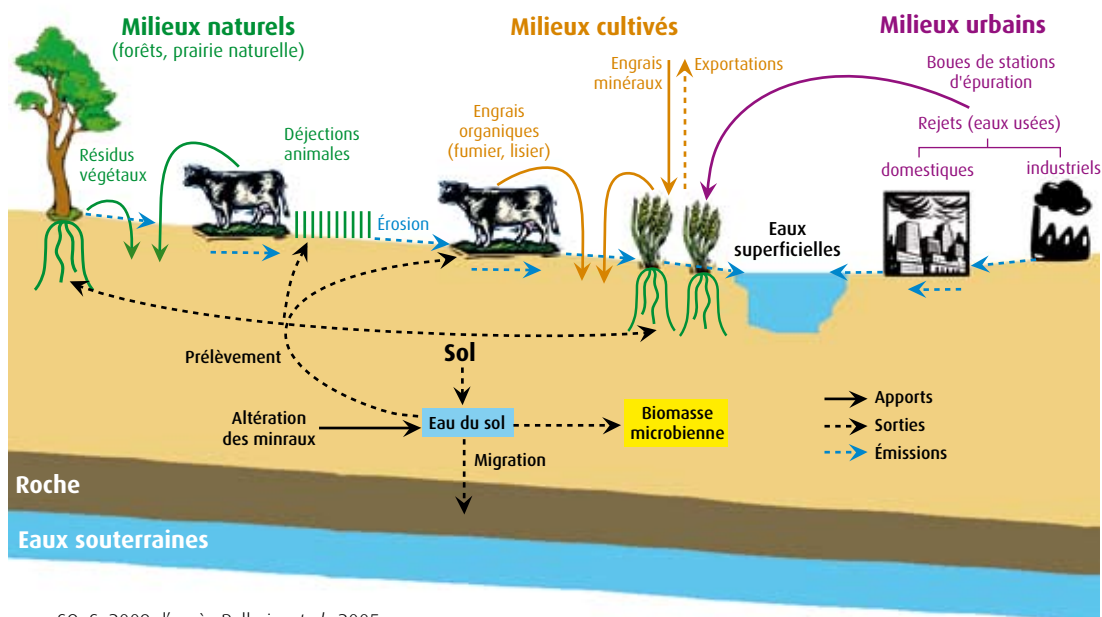
Véronique Antoni, SOeS.

Le phosphore est, avec l'azote et le potassium, l'un des trois nutriments indispensables à la croissance des végétaux. Il est concentré dans la partie superficielle du sol, sous forme minérale ou organique. Issu de l'altération des roches, le phosphore minéral est fortement lié aux carbonates de calcium dans les sols calcaires ou aux composés d'aluminium ou de fer dans les sols acides. Le phosphore organique résulte de la dégradation des végétaux par la faune et la flore du sol. Il peut représenter jusqu'à 80 % du phosphore total dans les sols des milieux naturels et seulement 25 % dans ceux des milieux cultivés.

Ces formes de phosphore ne sont pas immédiatement disponibles pour les plantes. Seul le phosphore en solution dans l'eau du sol peut être prélevé par les racines des plantes, soit moins de 0,5 % du phosphore total. Cette fraction de phosphore dite biodisponible<sup>1</sup> est constamment rechargée par les formes minérales et organiques.

Dans les milieux naturels, la décomposition des végétaux restitue au sol la majeure partie du phosphore prélevé. Par contre, dans les milieux cultivés la teneur en phosphore du sol est appauvrie puisque le phosphore contenu dans les plantes récoltées ne retourne pas aux sols. L'apport de fertilisants phosphatés minéraux ou organiques (fumiers, lisiers) est alors nécessaire.

### Cycle du phosphore préservé dans les milieux naturels, modifié dans les milieux anthropisés



Source : SOeS, 2009 d'après Pellerin et al., 2005.

<sup>1</sup> Biodisponible : possibilité pour une substance d'être absorbée par une plante dans le sol.

## Le phosphore apporté aux sols est en partie rejeté dans l'environnement

L'apport de phosphore sur les sols français métropolitains était estimé à 775 000 tonnes en 2001, sous forme d'engrais minéraux (environ 50 %), de déjections animales (environ 40 %), d'effluents urbains domestiques (environ 5 %) ou industriels (environ 3 %) et de boues de stations d'épuration (environ 2 %).

Les transferts vers les eaux de surface sont de l'ordre de 0,1 à 2,5 kg/ha/an selon le type d'occupation du sol. Les milieux naturels émettent peu de phosphore dans les eaux superficielles, contrairement aux milieux cultivés ou urbains. Selon une estimation, 9 % du phosphore apporté serait rejeté en moyenne dans les eaux chaque année : la moitié d'origine agricole et l'autre d'origine urbaine ou industrielle. Ces proportions varient en fonction de la prédominance de l'agriculture ou de l'urbanisation dans les territoires. Les rejets industriels et domestiques sont plutôt ponctuels. Ils diminuent depuis les années 90, suite à la réduction des phosphates dans les lessives destinées aux ménages et à leur interdiction en France en juillet 2007. Les émissions agricoles, plutôt diffuses, sont liées à l'intensité des pluies, aux facteurs de transfert (pente, type de sol, occupation du sol, etc.) et aux connexions des écoulements avec les eaux superficielles. Elles sont maximales en période de crue et résultent des écoulements à la surface du sol et dans le sol.

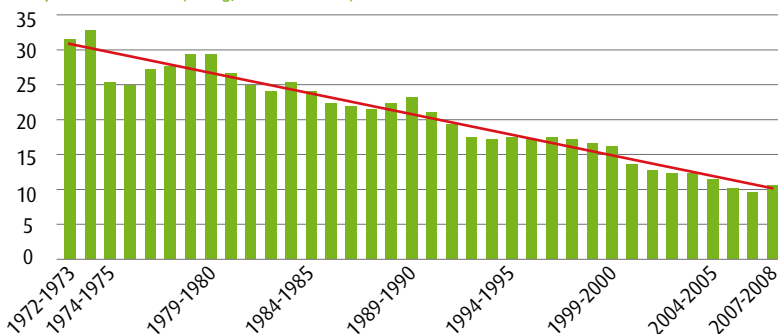
### L'apport éventuel de contaminants dans les sols

Les phosphates minéraux utilisés comme engrais contiennent des métaux et notamment du cadmium, toxique pour l'homme. Leurs concentrations varient en fonction des zones d'extraction. Leur épandage sur les sols participe à l'enrichissement des terres en éléments traces métalliques mais en proportion moindre que d'autres sources comme les déchets agricoles, urbains ou les retombées atmosphériques.

Les boues de stations d'épuration recyclées en agriculture peuvent aussi présenter des risques sanitaires pour l'homme et l'environnement. Elles peuvent contenir des micropolluants organiques, des micro-organismes pathogènes ou des métaux. Les conditions d'épandage des boues issues du traitement des eaux usées sont donc réglementées, elles doivent satisfaire à des prescriptions techniques précises avec des teneurs limites.

### Baisse de deux tiers des livraisons d'engrais phosphatés entre 1972 et 2008

Moyenne nationale (en kg/ha fertilisable)



Note : Les statistiques de livraisons de l'Unifa vont du 1<sup>er</sup> mai de l'année n au 30 avril de l'année n + 1.

Source : Unifa, 2008. Traitement SOeS, 2009.

En 2007, l'analyse de la pollution phosphatée des cours d'eau en métropole montre que sur 2 372 points de mesure des agences de l'Eau, 2 % sont de qualité mauvaise, 4 % médiocre, 12 % moyenne, 55 % bonne et 27 % très bonne.

### Le phosphore participe à l'eutrophisation des eaux

Le phosphore en excès rejoint les milieux aquatiques sous forme dissoute dans l'eau du sol ou fixé sur des particules du sol issues majoritairement du ruissellement et de l'érosion. Conjugué à l'excès de nitrates, cet afflux a contribué au développement, à partir des années 60, des phénomènes d'eutrophisation des eaux de surface. D'importantes proliférations végétales apparaissent ainsi régulièrement : les « blooms algaux » en milieu lacustre, fluvial et estuarien. La décomposition de ces végétaux par certaines bactéries diminue le niveau d'oxygène des eaux et donc leur qualité et la biodiversité aquatique, seules quelques espèces pouvant résister à la dégradation du milieu. Des espèces toxiques pour la santé humaine ou animale peuvent se développer, entraînant une hausse des coûts de potabilisation de l'eau. L'accumulation de matière organique non dégradée par manque d'oxygène accélère le comblement des lits fluviaux et des lacs.

Des techniques préventives permettent de réduire le transfert du phosphore agricole vers les eaux. À l'échelle de la parcelle, on note les techniques culturales limitant l'érosion des sols, le choix de l'occupation du sol dans les zones à risque et la réduction ou la fragmentation des apports. Des rétentions de phosphore de plus de 50 % sur des périodes allant jusqu'à trois ans ont été observées à l'échelle de la parcelle. À l'échelle du bassin versant, figurent l'implantation de haies le long des versants, l'entretien de zones tampons et de bandes enherbées en bas de parcelle à risque et le curage des plans d'eau.

### La ressource minérale en phosphore est épuisable

Les gisements de phosphore exploités (46 gigatonnes) proviennent de dépôts sédimentaires ou marins (80 %), magmatiques (17 %) et de guano issus d'excréments d'oiseaux marins (3 %). Principalement localisés au Maroc (45,5 %), en Chine (28 %) et aux États-Unis (7,5 %), ils risquent d'être épuisés d'ici cent ans et les gisements non encore exploités (50 gigatonnes) d'ici trois cents ans (US Geological Survey).

En France, la craie phosphatée du Nord et les scories Thomas issues de l'activité sidérurgique ont été utilisées dès le XIX<sup>e</sup> siècle. Les apports d'engrais phosphatés en agriculture se sont généralisés dans les années 50 pour culminer dans les années 70, entraînant un recours accru aux phosphates « industriels ». Les agriculteurs utilisent actuellement peu de phosphates naturels réservés aux sols acides. Ils emploient avant tout des engrais phosphatés issus de processus industriels sous forme d'engrais simples ou en association avec l'azote seul ou l'azote et le potassium. Ils utilisent aussi des effluents d'élevage.

### L'utilisation des engrais minéraux phosphatés a baissé de deux tiers depuis les années 70

Selon l'Union des industries de la fertilisation (Unifa, 2008), les livraisons nationales d'engrais phosphatés ont baissé progressivement de 31 à 10 kg P/ha fertilisable entre 1972 et 2008. Cette baisse de deux tiers s'explique par l'amélioration des pratiques culturales : utilisation des analyses de terre pour

le suivi de la fertilité des sols, développement de la fertilisation « raisonnée »<sup>2</sup>, amélioration des connaissances agronomiques. La diversification des modes de fertilisation et l'augmentation du coût des engrais y ont aussi contribué<sup>3</sup>.

Exceptions notables à cette diminution sur trente-cinq ans, la hausse constatée des livraisons d'engrais phosphatés d'une part entre 1978 et 1980 (7 %), d'autre part entre 1988 et 1990 (9,5 %), semble due à la hausse du prix des céréales, incitant les agriculteurs à augmenter leurs objectifs de production et donc l'achat d'engrais minéraux.

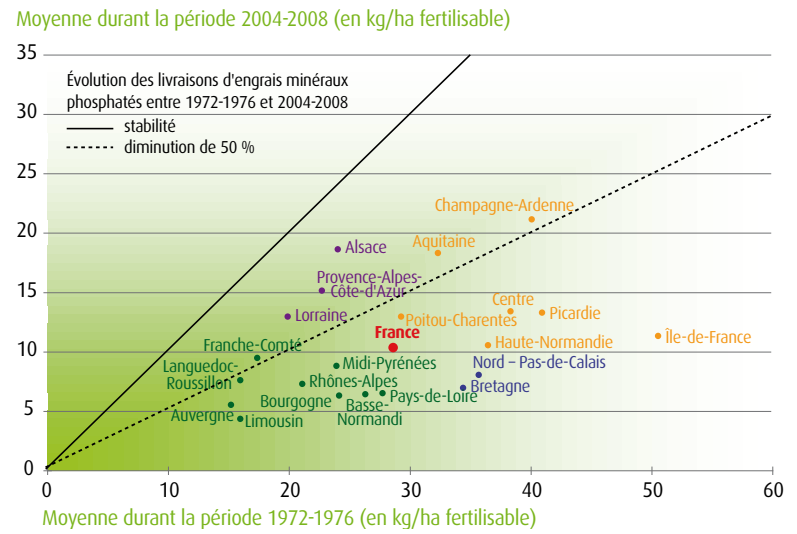
Au niveau régional, les diminutions observées entre les périodes 1972-1976 et 2004-2008 varient de - 22 % en Alsace à - 80 % en Bretagne, où l'utilisation moyenne passe de 38 à 7 kg P/ha fertilisable. L'évolution est progressive entre ces deux périodes pour l'ensemble des régions, sauf pour l'Alsace jusqu'en 1989 et le Languedoc-Roussillon jusqu'en 1997 qui voient leurs livraisons de phosphore augmenter avant d'amorcer une décroissance.

L'analyse régionale montre une diminution des livraisons dans toutes les régions et identifie quatre groupes :

**Groupe 1 :** Il représente les régions dont les livraisons de phosphore sont toujours inférieures à la moyenne nationale. Deux ensembles géographiques se distinguent : les régions Bourgogne, Franche-Comté, Rhône-Alpes, Auvergne, Limousin, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon et les régions Pays de la Loire et Basse-Normandie. Ces régions d'élevage extensif, de potentiel agricole moindre ou de viticulture, ont des besoins moindres en fertilisation phosphatée.

**Groupe 2 :** Il réunit le Nord - Pas-de-Calais et la Bretagne, dont les livraisons sont supérieures à la moyenne nationale en

## Diminution des livraisons d'engrais phosphatés très contrastée suivant les régions



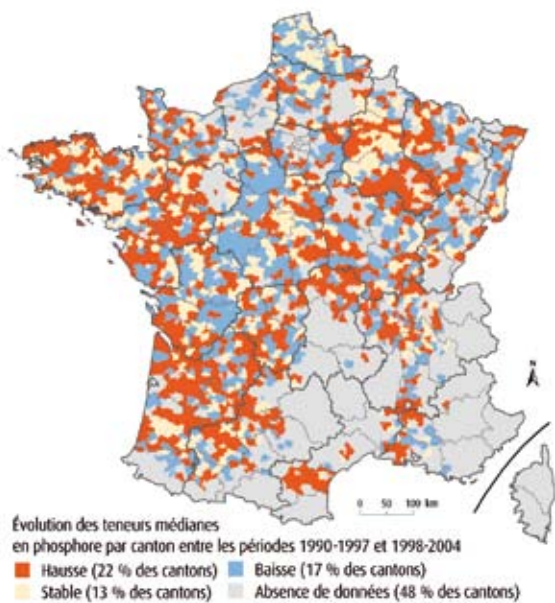
Source : Unifa, 2008. Traitement SOeS, 2009.

1972-1976 et inférieures en 2004-2008. Les baisses de plus de 75 % s'expliquent par une hausse de l'usage des effluents d'élevage en Bretagne. Pour le Nord - Pas-de-Calais, ce serait plutôt le résultat d'une fertilisation plus raisonnée.

**Groupe 3 :** Il rassemble les régions céréalières : l'Aquitaine, le Poitou-Charentes, le Centre, l'Île-de-France, la Haute-Normandie, la Picardie et la Champagne-Ardenne. Les livraisons ont connu des baisses importantes, mais restent toujours supérieures à la moyenne nationale.

**Groupe 4 :** Il regroupe les régions dont les livraisons sont inférieures à la moyenne nationale en 1972-1976 et supérieures en 2004-2008. On note une faible diminution des livraisons d'engrais phosphatés en Provence-Alpes-Côte d'Azur (- 33 %) et en Alsace (- 22 %). En Lorraine, les livraisons supérieures à la moyenne nationale en 2004-2008 sont sans doute liées à la culture du colza, plante exigeante en phosphore et à la présence de sols caillouteux pauvres en phosphore biodisponible.

## Augmentation des teneurs médianes en phosphore dans 43 % des cantons renseignés sur une période de quinze ans



Source : Gis Sol, BDAT, 2009. Traitement Gis Sol, 2009.

## Le phosphore continue malgré tout d'augmenter dans de nombreux sols agricoles

La baisse généralisée de l'usage des engrais minéraux ne se traduit pas par une diminution concomitante du phosphore dans le sol. Les teneurs médianes en phosphore des sols agricoles diminuent dans 34 % des cantons disposant d'assez de données, sont stables dans 24 % et augmentent dans 43 % entre 1990-1997 et 1998-2004. Dans une majorité de cantons, elles augmentent en Bretagne, dans les Pays de la Loire, en Champagne-Ardenne et en Aquitaine, tandis qu'elles diminuent au nord, au centre et à l'ouest.

Les teneurs en phosphore des sols peuvent être interprétées en tenant compte des caractéristiques des sols et de l'exigence des plantes. Cette dernière est variable : plantes très exigeantes (betterave, colza, etc.), moyennement exigeantes (maïs ensilage, pois, etc.) et peu exigeantes (avoine, maïs grain, etc.). Ainsi, en Bretagne, dans le Nord - Pas-de-Calais et en Alsace, plus de 40 % des cantons présentent des fortes teneurs en phosphore. Quelles que soient les plantes cultivées, la plupart des sols de ces cantons sembleraient disposer de teneurs en phosphore suffisantes à leurs exigences pour plusieurs années.

<sup>2</sup> La fertilisation raisonnée intègre davantage la dynamique de transfert du phosphore du sol vers les plantes en fonction de leur exigence vis-à-vis des phosphates et de la fréquence des apports. L'exigence est la capacité de la plante à extraire plus ou moins facilement le phosphore.

<sup>3</sup> L'indice du prix d'achat des engrais a augmenté de l'ordre de 3 % par an de 2000 à 2006 puis 40 % par an de 2006 à 2008 (indice Ipampa).

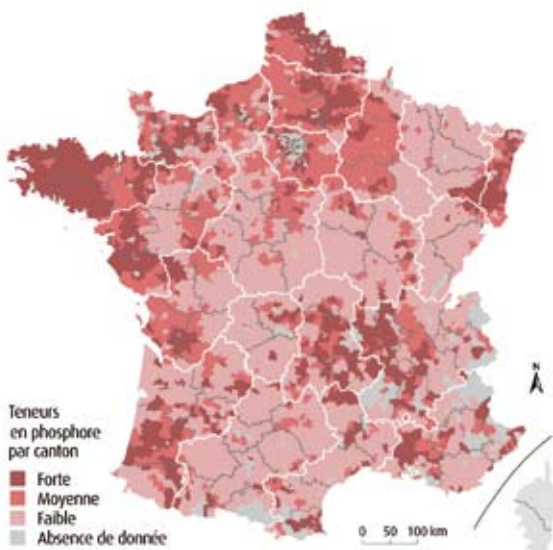
En Bretagne, c'est l'élevage intensif, pratiqué depuis quarante ans, qui explique les surplus de phosphore. Utilisé pour fertiliser les cultures et également dans l'alimentation animale, il se retrouve dans les effluents d'élevage et les déjections animales lors du pâturage. L'épandage des effluents organiques sur des territoires restreints, donne lieu à des teneurs en phosphore importantes dans les sols. Dans le Nord et en Alsace, c'est l'usage ancien des scories qui a pu contribuer aux teneurs élevées constatées aujourd'hui.

À l'inverse, dans de nombreuses régions, la majorité des cantons présentent des teneurs faibles en phosphore : Limousin, Franche-Comté, Lorraine, Midi-Pyrénées, Bourgogne, Centre, Languedoc-Roussillon et Aquitaine. Dans ces régions où l'activité agricole dominante est l'élevage, la teneur en phosphore de nombreux sols cultivés serait insuffisante pour assurer des rendements convenables quel que soit le type de culture.

En ce qui concerne les autres régions (Champagne-Ardenne, Picardie, Haute-Normandie et Île-de-France), une majorité de cantons présentent des sols dont les teneurs en phosphore conviennent à des plantes moyennement exigeantes : le niveau de phosphore biodisponible dans de nombreux sols ne suffirait pas à la culture de plantes exigeantes comme la betterave sucrière ou le colza dans les zones traditionnelles de grandes cultures, comme le Bassin parisien, sans apport d'engrais phosphaté.

Le bilan du phosphore dans les sols agricoles constitue un enjeu fort de réduction de l'impact environnemental : cela passe par l'équilibre entre des rendements optimums et une fertilisation limitée dans le temps et l'espace, ainsi que par l'amélioration du recyclage du phosphore lors du traitement des boues d'épuration. ●

### Fortes teneurs en phosphore en Bretagne, en Alsace et dans le Nord - Pas-de-Calais sur la période 1995-2004



Note : Les classes sont définies en fonction de l'exigence des plantes et des caractéristiques des sols.

Source : Gis Sol, BDAT, 2009. Traitement Gis Sol, 2009

## Méthodologie

En agronomie, on exprime les valeurs de phosphore en poids d'oxyde  $P_2O_5 = 2,2914 \times P$ . Pour des commodités de lecture, les valeurs citées sont données en P. Les cartes de teneur en phosphore et de leur évolution dans la partie superficielle des sols résultent de l'exploitation statistique de la base de données des analyses de terre (BDAT) du groupement d'intérêt scientifique sur le sol (Gis Sol). En 2008, elle regroupe 1,3 million d'échantillons de sol analysés, soit 14 millions de résultats d'analyses. Réparties sur quinze années de collecte (1990-2004), les analyses sont réalisées majoritairement à la demande des agriculteurs pour raisonner leur fertilisation.

Des méthodes robustes de ré-échantillonnage des données ont permis d'étudier un nombre d'analyses constant par canton. Les analyses dites Joret-Hébert (sols calcaires) et Dyer (sols acides) ont été utilisées. Les teneurs en phosphore ont été classées en fonction de seuils agronomiques : teneurs faibles (Pjoret-Hébert < 55-65 mg/kg de sol, PDyer < 65-80 mg/kg de sol), teneurs fortes (Pjoret-Hébert > 110-130 mg/kg de sol, PDyer > 130-175 mg/kg de sol). Ces seuils sont basés sur l'exigence des plantes et modulés par les teneurs en calcaire, en argile et en matière organique des sols et par le pH.

Les résultats par canton indiquent une tendance, ils peuvent néanmoins masquer une diversité intra-cantonale importante. De plus, les apports de phosphore sont raisonnés à l'échelle locale à partir du résultat des analyses de terre effectuées à la parcelle.

## Phosphorous in the soil

*an agricultural necessity, an environmental concern*

*Phosphorous in the soil is essential for plant growth, but in excess it can contribute to degradation of surface waters. In cultivated areas, mineral fertilisers as well as effluents from livestock farming and urban areas contribute to the phosphorous requirements of crops. Deliveries of mineral fertilisers containing phosphates have reduced by two-thirds since the 1970s. Levels of phosphorous in agricultural soils are nonetheless increasing in 43 per cent of the Cantons surveyed, especially in the Brittany, Pays-de-Loire, Champagne-Ardenne and Aquitaine regions. ●*

### Pour en savoir plus :

- Dorioz J.-M., Trevisan D., 2008. « Le transfert diffus du phosphore dans les bassins agricoles : ordres de grandeur, mécanismes, maîtrise », *Ingénieries*, n° spécial. p. 27-47.
- Follain S., Schwartz C., Denoroy P. *et al.*, 2008. « A method for assessing available phosphorus content in arable topsoils over large spatial scales », *Agronomy for sustainable development*, (DOI : 10.1051/agro : 2008046).
- Gis Sol : <http://www.gissol.fr>
- Pellerin S., Dorioz J.-M., Morel C., 2005. « Bilan environnemental du phosphore » in *Sols et environnement*. Paris, Dunod. p. 628-649.
- Schwartz C., Fabre B., Julien J.-L., 2005. « Sols, fertilisation et environnement » in *Sols et environnement*. Paris, Dunod. p. 671-691.