

# La moitié de la disponibilité en phosphore des sols agricoles mondiaux est issue des engrais minéraux phosphatés

Joséphine Demay<sup>1</sup>, Bruno Ringeval<sup>1</sup>, Sylvain Pellerin<sup>1</sup>, Thomas Nesme<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ISPA, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, F-33140, Villenave d'Ornon, France

<sup>2</sup> Bordeaux Sciences Agro, University of Bordeaux, UMR ISPA, Gradignan, France

## Contexte

L'usage des engrais minéraux phosphatés a permis d'augmenter la fertilité en phosphore des sols et in fine les rendements agricoles. Cependant ces engrais sont issus de l'extraction et du traitement chimique de roches phosphatées, une ressource finie et inégalement répartie sur terre. Dans le court à moyen terme l'épuisement des réserves de bonnes qualités et facilement accessibles risque d'entraîner une augmentation du prix des engrais. De plus, la concentration de la ressource dans quelques pays seulement, dont le Maroc et la Chine, pourrait aussi être à l'origine de tensions géopolitiques (Cordell et al., 2009). Dans ce contexte il est important de mieux comprendre la dépendance de nos systèmes de production agri-alimentaire à l'usage des engrais minéraux phosphatés.

## Méthode

Nous avons développé un modèle qui simule l'évolution de la disponibilité en phosphore d'origine naturelle et anthropique des sols agricoles pour chaque pays dans le monde et sur la période 1950-2017. Le phosphore anthropogénique fait référence au phosphore utilisé en agriculture sous forme d'engrais minéraux de synthèse ou sous forme de minéraux pour les animaux d'élevage et qui est issu de l'extraction et du traitement chimique de roches phosphatées. Ce phosphore anthropogénique est apporté sur les sols agricoles via l'application directe d'engrais minéraux mais également via l'apport d'effluents ou de boues de station d'épuration qui peuvent contenir une fraction de phosphore anthropogénique. En effet le modèle trace le phosphore d'origine anthropique dans les sols mais aussi dans les flux entrants et sortants des sols (engrais minéraux, effluents, boues, exportations par les cultures et les prairies, érosion). Nous faisons l'hypothèse que la fraction ou signature anthropogénique en phosphore des organes végétaux exportés est égale à celle du sol. De même la signature anthropogénique en phosphore des effluents d'élevage est la même que celle de leur alimentation. Par opposition au phosphore anthropogénique, nous appelons phosphore naturel le phosphore non issu de l'application d'engrais minéraux. Ainsi en 1950, année de début de nos simulations, nous faisons l'hypothèse que la totalité du phosphore disponible présent dans les sols est naturel.

## Résultats

Nos résultats ont permis de mettre en évidence une dépendance très forte de la fertilité actuelle des sols à l'usage passé et présent d'engrais minéraux. La signature anthropogénique en phosphore des sols agricoles à l'échelle mondiale est en moyenne de  $47 \pm 8\%$ . Cette moyenne globale cache cependant de fortes inégalités entre les pays et régions du monde. Avec des signatures supérieures à 60% en 2017 les pays d'Europe de l'ouest, d'Amérique du Nord et d'Asie sont ceux qui ont le plus eu recours aux engrais minéraux. Dès les années 1950s l'Amérique du Nord et l'Europe de l'ouest fertilisent massivement leurs sols ce qui entraîne une hausse rapide de leurs signatures. Ces signatures se stabilisent autour des années 1970s, notamment pour les pays d'Europe de l'Ouest dû à un usage moindre des engrais minéraux, partiellement compensé par l'apport d'effluents. En France, on estime en 2017 que 70-80% de la disponibilité en phosphore des sols agricoles français provient de l'utilisation passée et présente d'engrais minéraux phosphatés (Demay et al., 2023; Ringeval et al., 2014). Les pays d'Asie voient leurs signatures augmenter dès les années 1970s, période marquée par la Révolution Verte et l'usage massif

d'engrais minéraux. Leurs signatures sont toujours en augmentation dû à un usage grandissant d'engrais minéraux. A l'inverse l'Amérique du Sud et plus particulièrement l'Afrique présentent des signatures anthropogéniques plus basses de l'ordre de 40 et 30% respectivement.

## Conclusion

Nos travaux mettent en évidence une répartition très inégale des engrais minéraux phosphatés qui ont contribué à l'augmentation de la disponibilité en phosphore des sols agricoles de certaines zones du monde seulement. Ainsi certaines régions du monde comme l'Afrique présentent toujours une disponibilité en phosphore des sols faible, ce qui limite les rendements agricoles (Kvakíc et al., 2018). Dans un contexte de raréfaction de la ressource en roches phosphatées il devient urgent de mettre en place une coordination mondiale pour allouer les ressources en roches phosphatées restantes aux pays qui en ont le moins bénéficié et où l'apport d'engrais permettrait d'augmenter les rendements (Langhans et al., 2022). En parallèle, les pays comme la France ayant accumulé des stocks de phosphore disponible importants grâce aux engrais doivent avant tout gérer durablement ce stock hérité. Cela passe par une maîtrise de l'érosion des sols grâce à des pratiques agricoles appropriées, dans la mesure où des pertes en terres s'accompagnent d'une perte du phosphore associé. Cela passe aussi par un effort accru de recyclage des matières organiques contenant du P (effluents, composts, boues, etc.).

## Références bibliographiques

- Cordell, D., Drangert, J.O., White, S., 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Glob. Environ. Chang.* 19, 292–305.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>
- Demay, J., Ringeval, B., Pellerin, S., Nesme, T., 2023. Half of global agricultural soil phosphorus fertility derived from anthropogenic sources. *Nat. Geosci.* 16, 69–74.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41561-022-01092-0>
- Kvakíc, M., Pellerin, S., Ciais, P., Achat, D., Augusto, L., Denoroy, P., Gerber, J., Goll, D., Mollier, A., Mueller, N., Wang, X., Ringeval, B., 2018. Quantifying the Limitation to World Cereal Production Due To Soil Phosphorus Status. *Global Biogeochem. Cycles* 32, 143–157.  
<https://doi.org/10.1002/2017GB005754>
- Langhans, C., Beusen, A.H.W., Mogollón, J.M., Bouwman, A.F., 2022. Phosphorus for Sustainable Development Goal target of doubling smallholder productivity. *Nat. Sustain.* 5, 57–63.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-021-00794-4>
- Ringeval, B., Nowak, B., Nesme, T., Delmas, M., Pellerin, S., 2014. Contribution of anthropogenic phosphorus to agricultural soil fertility and food production. *Global Biogeochem. Cycles* 28, 743–756. <https://doi.org/10.1002/2014GB004842>



### Joséphine Demay

Doctorante à l'UMR ISPA de l'INRAE de Bordeaux je travaille sur la dépendance des systèmes agricoles à l'usage d'engrais minéraux phosphatés de synthèse ainsi que sur l'évaluation de la limitation potentielle de la production des systèmes agricoles biologiques par la disponibilité en phosphore des sols, dans des scénarios de forte expansion de l'agriculture biologique. Je travaille à des échelles spatiales larges, notamment à l'échelle mondiale. Ma thèse est cofinancée par INRAE et Arvalis. Dans ce cadre je participe également au projet CASDAR PhosphoBio.