

## Identification et modélisation des processus à l'origine des transferts de phosphore dissous dans un bassin versant agricole<sup>1</sup>

par Rémi Dupas

Yves Souchon. – Le phosphore joue un rôle majeur dans l'eutrophisation des eaux, car son excès allié à celui des nitrates est susceptible d'altérer leur physico-chimie et d'occasionner diverses nuisances comme des croissances algales excessives, parfois nocives, et des anoxies, tant en milieu continental que côtier. L'alimentation en eau potable, le tourisme et la biodiversité des milieux récepteurs en pâtissent. La mise en place de mesures d'atténuation de ces impacts a par le passé surtout concerné l'interdiction des polyphosphates des lessives, la mise en place de procédés de déphosphatation dans certaines stations d'épuration et le filtrage du phosphore particulaire lessivé dans les bassins versants par des bandes enherbées implantées dans les versants et au bord des cours d'eau. Malgré ces mesures, l'eutrophisation persiste en de nombreux endroits et on assiste même à la ré-eutrophisation de certains lacs<sup>1</sup>, ce qui interroge la communauté scientifique sur l'origine de ces déséquilibres. La littérature récente met en exergue le rôle que jouerait plus directement le phosphore soluble réactif (SRP) plus bio-assimilable vis-à-vis de l'eutrophisation, dans les fenêtres saisonnières propices à la métabolisation algale (printemps/été, bas débits). Rémi Dupas aborde dans sa thèse la question de l'origine des transferts de phosphore dans un bassin agricole. Son ambition est :

(1) de distinguer et de quantifier les mécanismes relatifs d'une part aux formes particulières et d'autre part à ces formes dissoutes du phosphore nouvellement incriminées. Dans quelle mesure les mécanismes sont-ils distincts ? Quelle en est la saisonnalité ?

(2) de déterminer le rôle de la nappe dans le transfert de phosphore dissous. Agit-elle seulement sur le transfert en provoquant une connexion hydrologique entre les sols et la rivière ? Ou agit-elle aussi sur la solubilisation du phosphore dans les sols ?

(3) de construire un modèle de transfert à partir des mécanismes révélés et d'en déterminer les incertitudes.

Les travaux de cette thèse ont été réalisés grâce à l'instrumentation d'un petit versant de 5 km<sup>2</sup>, le Kervidy-Naizin, situé dans le centre de la Bretagne, au sud de Pontivy. Il est suivi par l'INRA et avec le site de Kerbernez (Finistère), il appartient à l'ORE (Observatoire de Recherche en Environnement) AgrHys et l'un des bassins versants du Réseau de Bassins Versants (RBV) autour desquels se fédère la recherche française. Le Kervidy-Naizin est un bassin d'agriculture intensive (85 % de sa surface), doté d'importants élevages hors sol (porcs et bovins lait), avec une densité de 13 UGB/ha et des surplus d'azote et de phosphore respectivement estimés en 2003 à 36 et 12 kg/ha. Les séries de données disponibles concernent des échantillons de phosphore soluble réactif SRP et de matières en suspension (fréquence 1/6 jours de 2007 à 2013 et 1/jour de 2013 à 2015). Différents piézomètres sont installés dans la parcelle cultivée et dans la bande enherbée.

L'analyse des données a mis en évidence un découplage de l'exportation du phosphore particulaire (PP) et du phosphore soluble réactif (SRP), en fonction des saisons et des crues, ce qui plaide pour l'existence de sources et de voies de transfert différentes pour les deux formes. L'exportation du PP apparaît contrôlée par la disponibilité des sédiments et la capacité de transport du cours d'eau, tandis que celle du SRP apparaît

---

<sup>1</sup> Thèse préparée dans l'unité mixte de recherche (UMR) INRA – Agrocampus Ouest, Sol Agro et hydrosystème, Spatialisation (SAS, Rennes) et soutenue à Rennes, le 16 novembre 2015 dans le cadre de l'Ecole Doctorale : Sciences de la matière, Université Européenne de Bretagne, spécialité science de l'environnement.

<sup>1</sup> Baker, D.B., Confesor, R., Ewing, D.E., Johnson, L.T., Kramer, J.W. and Merryfield, B.J. (2014). Phosphorus loading to Lake Erie from the Maumee, Sandusky and Cuyahoga rivers: The importance of bioavailability. *Journal of Great Lakes Research*. **40**(3): 502-517.

contrôlée par les fluctuations de nappe dans les sols de fonds de vallée. Les concentrations en PP sont donc les plus élevées quand des sédiments facilement mobilisables sont présents dans le lit du cours d'eau, et pendant les crues hivernales, où les débits élevés sont favorables à l'érosion des berges voire à l'apport de sol érodé au niveau des versants. Les concentrations en SRP sont les plus élevées en début d'année hydrologique puis diminuent ensuite. Comme ces concentrations automnales élevées sont observables en crue et hors crue, l'hypothèse privilégiée est celle d'une disponibilité élevée de phosphore mobilisable dans les sols de fond de vallée à l'automne.

La mise en évidence d'une absence de couplage entre transfert de PP et SRP apporte une nouvelle vision pour les contextes d'agriculture intensive où l'on considérait jusqu'alors que les transferts de phosphore dissous provenaient essentiellement de la solubilisation du phosphore particulaire. Par ailleurs, les battements saisonniers de la nappe contrôlent la solubilisation du SRP. La période de sécheresse estivale permet la constitution d'un pool de phosphore mobile dans les sols, exporté et progressivement épuisé lorsque la nappe monte dans les sols de bas-fond à l'automne. Cette mobilisation automnale est d'autant plus importante que la teneur en phosphore des sols est élevée.

Enfin en « collant » au mieux aux données observées, un modèle de transfert (TNT2-P) a été construit qui s'appuie sur les principaux facteurs de contrôle du SRP identifiés (interaction sol nappe dans les zones de fonds de vallée pour les transferts de sub-surface, ou ruissellement sur surface saturée, en tenant compte de la disponibilité en P mobile, fonction de la teneur en P des sols et de leur condition hydrique antérieure).

La thèse de R. Dupas est solidement architecturée autour de 3 articles publiés<sup>2</sup> et d'un article soumis, dont la substance est reprise, discutée et enrichie dans un manuscrit de 211 pages. Le style est très clair et efficace. Un dernier article<sup>3</sup> également publié est placé en annexe et non discuté dans la thèse. Il présente une tentative de construire un modèle de risque d'eutrophisation pour toute la France et souligne toutes les difficultés d'un tel changement d'échelle en univers plus diversifié, moins instrumenté et où plusieurs stocks et sources de phosphore ponctuelles et diffuses se cumulent dans les bassins. Cette tentative pionnière sera des plus utiles pour raffiner ces approches de risque dans le futur.

In fine le travail présenté par R. Dupas est impressionnant et remarquable par sa valorisation académique, la qualité et l'originalité des analyses statistiques des signaux (en particulier déformation temporelle dynamique), la maîtrise des concepts de biogéochimie, le recul vis-à-vis de la modélisation des transferts, les ouvertures intellectuelles sur le couplage entre cinétiques du phosphore, de l'azote et du carbone, la modernisation de l'instrumentation et les stratégies d'atténuation qu'il conviendrait de diversifier.

On sait que le phosphore n'est pas une ressource renouvelable, que ses stocks s'épuiseront, qu'il pourrait faire l'objet de fortes spéculations et par ailleurs que son transfert en excès aux milieux récepteurs, rivières, lacs et mers côtières contribue à leur eutrophisation. Voilà autant de raisons qui plaident pour une maîtrise accrue de cet élément dans son utilisation en agriculture. C'est par des contributions à la connaissance d'aussi grande qualité que la thèse de R. Dupas, que l'on pourra dans le futur mieux concilier agriculture et environnement.

---

<sup>2</sup> Dupas R, Gascuel-Oudoux C, Gilliet N, Grimaldi C, Gruau G. Distinct export dynamics for dissolved and particulate phosphorus reveal independent transport mechanisms in an arable headwater catchment. *Hydrological Processes* 2015 ; 29 : 3162 -3178.

Dupas, R., Tavenard, R., Fovet, O., Gilliet, N., Grimaldi, C., & Gascuel-Oudoux, C. (2015). Identifying seasonal patterns of phosphorus storm dynamics with dynamic time warping. *Water Resources Research*, 51(11), 8868-8882.

Dupas, R., Gruau, G., Gu, S., Humbert, G., Jaffrézic, A., & Gascuel-Oudoux, C. (2015). Groundwater control of biogeochemical processes causing phosphorus release from riparian wetlands. *Water research*, 84, 307-314.

<sup>3</sup> Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J. M., Garnier, J., Moatar, F., & Gascuel-Oudoux, C. (2015). Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators*, 48, 396-407.